Vergleichende Transpirationsuntersuchungen in der Gattung Pinus.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

einer

Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Eberhard-Karls-Universität

zu Tübingen

vorgelegt von

August Bader

aus Reutlingen.

Druck der Buchdruckerei Eugen Göbel in Tübingen

1930

Gedruckt mit Genehmigung der Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Tübingen.

Referent: Prof. Dr. Lehmann.
Tag der Promotion: 10. Juli 1930.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Einleitung.

Die Ökologie der Gattung Pinus fordert aus verschiedenen Gründen eine besondere vergleichende Betrachtung. Die Arten der Gattung haben eine überaus weite Verbreitung auf der nördlichen Halbkugel; sie finden sich hier von der Baumgrenze im Norden und in den Gebirgen bis zum und teilweise über den Äquator. Trotz weitester Verbreitung unter recht mannigfaltigen Standortsbedingungen tritt uns die Gattung im allgemeinen in physiognomisch sehr einheitlichem Gewande entgegen. Überall fast, wo Vertreter der Gattung auftreten, bilden sie wichtigste Nutzpflanzen, deren Lebensbedingungen genau zu kennen, von praktisch größter Bedeutung wäre.

Vergleichen wir diese Momente ökologischen wie praktischen Interesses mit den tatsächlich vorliegenden Kenntnissen, so ergibt sich ein bemerkenswertes Mißverhältnis. Sicher ist dieses zu einem großen Teile bedingt durch die experimentellen Schwierigkeiten, welche das Studium der Kiefernökologie aufweist. Trotz all dieser Schwierigkeiten dürfte es aber dringend notwendig sein, den Versuch zu machen, auf dem oder jenem Wege der Lösung der so wichtigen ökologischen Fragen näher zu kommen.

Eine der ökologisch bemerkenswertesten Fragestellungen scheint nun die zu sein, wie sich die verschiedenen Pinusarten mit einander so ähnlichen Transpirationsorganen hinsichtlich ihrer Wasserabgabe verhalten. Wie große Schwierigkeiten solchen vergleichenden Untersuchungen entgegenstehen, ist ja durch die neueren Arbeiten und allgemeinen Darlegungen über Transpirationsfragen vielfach hervorgetreten (Zusammenstellungen bei Burgerstein und Seybold). Diese Schwierigkeiten vollauf zu überwinden, konnte auch mir nicht gelingen. Dennoch scheint es einen Gewinn zu bedeuten, das bisher in der Gattung Pinus Bekannte hier zusammenzustellen und mit eigenen vergleichenden Untersuchungen in der Gattung in Verbindung zu bringen.

Von einer Zusammenstellung der einschlägigen Literatur am Anfang der Darlegungen sehe ich ab, da die wichtigsten vorliegenden Daten im Zusammenhang mit den Hauptgesichtspunkten abgehandelt werden.

Methodik.

Voraussetzung für befriedigende Ergebnisse ist eine einwandfreie Methodik. Eine solche kann nur auf Wägungsversuchen beruhen. Solche Wägungsversuche können einmal an ganzen Pflanzen, zum andern an Pflanzenteilen ausgeführt werden. Werfen wir zunächst einen kurzen Blick auf solche früher in der Gattung Pinus durchgeführten Versuche.

a) Versuche an ganzen Pflanzen.

Versuche mit fünf- bis sechsjährigen in Töpfe verpflanzten Sämlingen von Pinus silvestris und Pinus Laricio stellte Höhnel [1881] an. Auf seine Versuche wird sehr vielfach in der Literatur Bezug genommen; ich gehe deshalb auf diese etwas näher ein. Die Versuchstöpfe wurden in einen zylindrischen, aus dünnem Zinkblech hergestellten Behälter gebracht. In den späteren Versuchen wurden die Innenseiten der Zinkblechumhüllungen mit Firnis überzogen, um die Bildung von Zinkkarbonat zu verhindern, das, wie die Versuche des Jahres 1878 gezeigt hatten, Vergiftungserscheinungen hervorrief. So hergerichtet verblieben die Pflanzen vor dem Beginn der eigentlichen Versuche ungefähr 3 bis 4 Wochen im Freien. Dann wurden die Gefäße durch einen Zinkblechdeckel mit einer 1 cm weiten Öffnung zum Begießen verschlossen. Zur Vermeidung direkter Sonnenbestrahlung wurden die Töpfe in einer Kiste im Boden eingelassen. Die Abwägung geschah mit einer Sattelwaage, meist zweimal am Tage.

Gegen diese Versuche Höhnels ist einzuwenden, daß sie einen großen Ausfall von Versuchspflanzen — zirka 65 % — hatten, was darauf hinweist, daß die Versuchsbedingungen keine wirklich günstigen und die Folgen der Verpflanzung nach 3 bis 4 Wochen, also bis zu Versuchsbeginn, noch nicht überwunden waren.

Transpirationsversuche mit in Töpfen kultivierten Pinuspflanzen stellten weiterhin Kusano [1901], Weaver und Mogensen [1919], Bates [1913] und Pearson [1924] an.

Kusano [1901] nahm für seine Transpirationsuntersuchungen etwa 40 bis 60 cm hohe Pflanzen von P. Thunbergii, die im September in Töpfe verpflanzt wurden. Die Versuchstöpfe wurden in metallene Behälter eingeschlossen, mit einem Deckel versehen und dann abgedichtet. Die Transpirationsverluste ermittelte er von Ende Dezember bis Ende März durch tägliche Abwägungen.

Weaver und Mogensen [1919]) verwandten zwei- bis fünfjährige Sämlinge von P. ponderosa, P. Banksiana und P. Murrayana, die im Mai in Töpfe verpflanzt und zu Versuchsbeginn im September in

eiserne mit Paraffin abgedichtete Gefäße versetzt wurden, wobei nur kräftige, wohlerhaltene Pflanzen zur Verwendung kamen. Die Wasserabgabe stellten sie ebenfalls durch Wägung fest.

Bates' [1923] Versuchsmaterial bildeten fünf- bis sechsjährige Topfpflanzen von P. aristata, P. flexilis, P. scopulorum, P. contorta und P. silvestris, die in einem Gewächshaus untergebracht waren. Die Wasserabgabe wurde in den frühen Morgenstunden ermittelt. Dies geschah so, daß jedem Topf, der bei 20% Bodenfeuchtigkeit ein bekanntes Gewicht hatte, aus einer Bürette, die auf 0,1 ccm genau war, wieder so viel Wasser zugegeben wurde, bis die Waage wieder ins Gleichgewicht kam. Die zugegebene Wassermenge stellte dann den Transpirationsverlust dar.

An zwei- bis fünfjährigen Pflanzen von P. aristata und P. scopulorum machte Pearson [1924] seine Transpirationsuntersuchungen. Die Sämlinge wurden zu je drei in eiserne, nachher mit einem metallenen Deckel verschlossene galvanisierte Töpfe verpflanzt. Von Mitte Juni bis Mitte Oktober befanden sich die Pflanzen im Freien. Zu dieser Zeit wurde jeden 3. oder 4. Tag durch Wägung der Transpirationsverlust besimmt, während im Winter, wo die Versuchspflanzen in einem ungeheizten Gewächshaus untergebracht waren, die Wägungen monatlich, z. T. in noch größeren Zeitabständen vorgenommen wurden.

b) Versuche mit Pflanzenteilen.

Als Pflanzenteile für Transpirationsuntersuchungen kämen einmal Kiefernzweige, zum andern Kiefernnadeln in Frage. Solche mit Kiefernnadeln sind mir nicht bekannt geworden. Mit Kiefernzweigen experimentierten Gordiagin [1916], Iwanoff [1924] und Huber [1928].

Gordjagins und Iwanoffs Untersuchungen galten der Feststellung der winterlichen Transpirationsgröße.

Gordjagin [1916] verwendete einjährige, abgeschnittene Triebe von P. cembra und P. silvestris, deren Wundflächen abgedichtet wurden. Die abgeschnittenen Zweige „wurden in einem speziellen, oben und unten offenen Schrank aufgehängt, der mit einem Förderer der Luftzirkulation, sowie mit Vorrichtungen, die das Eindringen von Schnee während Schneegestöber ausschließen sollten, versehen war. Die hintere Schrankwand (mit einem Glasfenster) konnte in einen kalten Raum, in welchem sich eine Waage befand und dessen Lufttemperatur fast keinen Unterschied mit der Außentemperatur aufwies, geöffnet werden. Die Gewichtsverluste wurden gleich der Wasserabgabe der Zweige angenommen".

Abgeschnittene Zweige von P. cembra und P. silvestris benützte Iwanoff [1924], die er, nachdem sie in einem kalten Raum abgewogen waren, wieder in der ursprünglichen Lage am Baum befestigte.

Durch wiederholte Abwägungen wurden die winterlichen Transpirationsverluste festgestellt.

Huber [1928] führte im Gegensatz dazu die Untersuchungen im Sommer durch. Seine Versuchspflanzen waren P. cembra, P. montana und P. austriaca. Er verwandte eine kombinierte Balkentorsionswaage (Abb. 1), mit welcher eine Transpirationsbestimmung innerhalb 2 Minuten ausgeführt werden konnte. Das Prinzip der Waage besteht darin, daß zunächst das Gesamtgewicht des Zweiges auf einer einfachen Balkenwaage bestimmt wird, während die feinen Gewichtsänderungen durch eine an der Achse der Balkenwaage an-

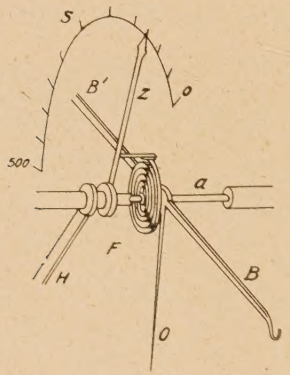

Abb. 1. Schema des Konstruktionsplanes der Balkentorsionswaage: BB' der Waagebalken mit dem Nullpunktzeiger o; F die Torsionsfeder welche einerseits an der Achse a angreift, andererseits durch Verschiebung des Zeigers Z gespannt werden kann. Die Verschiebung erfolgt von außen durch den mit dem Zeiger fest verbundenen Hebel H. Die Federspannung wird auf der Skala S abgelesen. Nach Huber.

gebrachten Torsionsfeder wiedergegeben werden. Diese Feder ist mit einem beweglichen Zeiger verbunden. Sinkt nun der Waagebalken, so wird die Feder gespannt und der Zeiger erfährt einen der Gewichtsänderung entsprechenden Ausschlag. Eine empirische Skala gestattet das einseitig belastende Mehrgewicht abzulesen.

Die Versuchsausführung war folgende: Der Versuchszweig wurde sofort nach dem Abschneiden an einem Ende des Waagebalkens aufgehängt und das genaue Gewicht ermittelt. Der mit der Torsionsfeder verbundene Zeiger wird um einen Teilstrich tiefer gestellt und die Zeit abgewartet, in der der Waagebalkenzeiger durch den Nullpunkt geht. In dem Augenblick wird die Stoppuhr in Gang gesetzt. Der Skalenzeiger wird nun je nach der Transpirationsgröße um eine größere Anzahl Teilstriche verschoben und der Zeitpunkt notiert, in dem der Zeiger wieder durch den Nullpunkt schwingt. Durch mehrere Intervallbestimmungen wurde die Wasserabgabe des Versuchszweiges ermittelt.

Lassen nun solche Versuche mit abgeschnittenen Zweigen bindende Schlüsse auf das Verhalten der Transpiration von am Baum befindlichen Zweigen zu?

Diese Frage wird von Huber [1927] bejaht, indem er sagt, „je schneller nach dem Abschneiden die Messung ausgeführt wird, desto

mehr Aussicht haben wir, die normale Transpiration zu erfassen". Zu derselben Ansicht kommt Stocker [1929], der eine Feldmethode ausarbeitete zur Bestimmung der momentanen Transpirationsgrößen am Standort. Sofort nach dem Abschneiden wurde die erste Wägung ausgeführt, die bereits nach einer Minute beendigt war. Im Abstand von zwei Minuten folgten weitere Wägungen, während in der Zwischenzeit die Pflanze unter natürlichen Bedingungen exponiert war. Die Versuche zeigen, daß bei einzelnen Blättern oder kleinen Sprossen die normale Transpiration erfaßt wird.

Iwanoff [1928] hat gegen die Transpirationsbestimmungen an abgeschnittenen Zweigen Einwände erhoben. Um dieselben zu begründen, wurde an fünf- bis sechsjährigen Pflanzen, die in Töpfe verpflanzt waren, die Wasserabgabe durch Wägung festgestellt. Sobald die Gewichtsänderungen gleichmäßig waren, wurde der Stamm durchschnitten und sofort wieder in die ursprüngliche Lage wie vor dem Durchschneiden verbracht. Die folgenden Transpirationsbestimmungen ergaben nun, daß „die Transpiration in den ersten Minuten nach dem Durchschneiden sich im Mittel um 20—30% erhöht und erst nach einer gewissen Zeit, manchmal nach 5 Minuten bis 10 Minuten, manchmal aber erst nach 20 Minuten die Intensität wieder erreicht, die vor dem Durchschneiden festgestellt war". Diese Transpirationserhöhung führt er auf Aufhebung der negativen Spannung in den Gefäßen zurück, die einen sofortigen Wassernachschub in die Blätter zur Folge hat. Bei näherer Durchsicht der Ergebnisse tritt jedoch diese Steigerung in der Wasserabgabe nicht bei allen Versuchen in Erscheinung.

Es war nun für meine Versuche, welche mit abgeschnittenen Zweigen durchgeführt werden sollten, da mir ganze, längere Zeit eingetopfte Pflanzen nicht zur Verfügung standen, von besonderer Wichtigkeit, die Frage selbst zu prüfen, wie sich die Transpirationsgrößen direkt nach dem Abschneiden verhalten. Der Versuchszweig wurde sofort nach der Abnahme vom Baum abgewogen, was etwa 1—2 Minuten in Anspruch nahm und die Wasserabgabe durch längere Zeit hindurch verfolgt. Dieselbe hielt sich je nach Art und Tageszeit mehr oder weniger lang in gleicher Höhe, worauf ein starker und dauernder Abfall eintrat. Wiederholungen dieser Versuche zeigten keinerlei Steigerungen der Transpiration wie aus Fig. 20 (s. u.) hervorgeht.

Demnach kann die Ansicht Hubers und Stockers bestätigt werden. Die Transpiration kann also an abgeschnittenen Zweigen direkt nach dem Abschneiden richtig bestimmt werden. Natürlich lagen die Verhältnisse insofern auch anders als Iwanoff, als nur kleine Zweiglein und nicht ganze Pflanzen in Frage kamen.

Nach diesen Feststellungen entschloß ich mich, die vergleichenden Transpirationsuntersuchungen an abgeschnittenen Zweigen durch-

zuführen und gehe nun dazu über, die von mir verwandte Methode näher zu schildern.

Die von Huber benützte kombinierte Balkentorsionswaage stand mir nicht zur Verfügung *). Ich sah mich deshalb nach einer günstig arbeitenden andern Waage um. Ähnliche Vorteile bot eine analytische Waage **), die mit Luftdämpfung versehen war. Durch diese Luftdämpfungsvorrichtung erübrigten sich die Umkehrpunktsbestimmungen. Da der Zeiger sich bereits nach einer Schwingung in die Nullpunktslage einstellte, war es möglich, innerhalb kürzester Zeit eine Wägung auszuführen.

Die Versuchsausführung war im Prinzip dieselbe wie die bei Huber dargelegte. Dem Versuchsbaum entnahm ich möglichst gleichaltrige und gleichgroße Zweiglein, deren Schnittflächen mit Kakaobutter abgedichtet wurden. Die Versuchszweige wurden mittels einer Bastschlinge in der Waage aufgehängt. Bereits 1½ bis 2 Minuten nach dem Abschneiden war das Frischgewicht bestimmt. Nun folgten die einzelnen Messungen. Je nach der Größe des Zweiges und der Transpirationsintensität wurden der einen Waagschale 1—5 mg entnommen und der Augenblick abgewartet, in dem die Waage durch den Nullpunkt schwang. Daraufhin verminderte ich wieder um ein bestimmtes Gewicht und notierte die Zeit, die verstrich, bis wieder Gleichgewicht hergestellt war. In dieser Art geschah die Festlegung der Transpirationsintervalle, bis im höchsten Falle ein Abfall von 30 bis 35% der anfänglichen Wasserabgabe eingetreten war. Nachher wurden sämtliche Nadeln abgenommen, das Gewicht der Sproßachse festgestellt und aus der Differenz von Zweigmaße und Sproßachse das Gewicht der Nadeln berechnet. Damit war ein Versuch beendet.

Zwischen den einzelnen Messungen eines Versuchs stand die Waage offen bis nahe an den Zeitpunkt, in dem eine neue Abwägung erfolgte. Die Luft konnte so ungehindert an dem Versuchszweig vorbeistreichen. Es kam darauf an, daß die Außenbedingungen so weit wie möglich unverändert blieben.

Die Waage war so exponiert, daß sie kein direktes Sonnenlicht traf. Vor dennoch auffallenden Sonnenstrahlen war dieselbe durch einen Schirm geschützt.

Die Versuchszweige wurden der Peripherie der Versuchsbäume in gleicher Höhe entnommen. Der Abnahmeort war stets im Schatten.

Außer abgeschnittenen Zweigen verwandte ich in der ersten Versuchsserie und in den Licht- und Schattenversuchen einzelne Nadelbüschel zur Transpirationsbestimmung. Die Methodik war dieselbe

*) Die kombinierte Balkentorsionswaage konnte von der betreffenden Firma nicht geliefert werden.

**) Die Waage wurde vom Universitätsbund Tübingen zur Verfügung gestellt, wofür ich ihm auch an dieser Stelle verbindlichst danken möchte.

wie oben beschrieben. Diese Nadelversuche nahmen jedoch, bis dieselben zum Versuch vorbereitet waren, zu viel Zeit in Anspruch, so daß aus diesem Grunde für die übrigen Versuche nur Zweige in Betracht kamen.

Zur Messung der relativen Luftfeuchtigkeit diente ein Haarhygrometer. Die Psychrometerdifferenz wurde mit einem August'schen Psychrometer festgestellt.

Das Bezugssystem.

Um vergleichende Transpirationswerte zu schaffen, müssen dieselben auf irgendein Bezugssystem umgerechnet werden. Die Frage nach der Bezugseinheit wurde in der Literatur des öfteren erörtert und mit den verschiedensten Vorschlägen beantwortet. Je nachdem die Fragestellung lautet, muß auch die Bezugseinheit gewählt werden, so daß man mit Huber [1925] zu dem Schluß kommt, daß sich „die Berechnungsweise möglichst nach den jeweiligen besonderen Bedürfnissen richten und jede starre Schablone beim Organismus vermieden werden muß".

Fassen wir nun die Untersuchungen in der Gattung Pinus ins Auge, so wurden einmal die Transpirationsgrößen auf das Lufttrockengewicht einer bestimmten Menge von Nadeln bezogen.

So ging Höhnel [1881] von 100 g lufttrockenen Nadeln bei seinen Versuchspflanzen P. silvestris und P. Laricio aus, auf die er die Transpiration bezog.

Auf 100 g Trockengewicht der Versuchspflanze rechnete Kusano [1901] die Wasserabgabe um.

Die gesamte Blattoberfläche einer Kiefernpflanze wählten Weaver und Mogensen [1919] und Bates [1923] als Bezugseinheit.

Weaver und Mogensen nahmen am Ende der Versuchsserie sämtliche Nadeln von der Versuchspflanze ab und bestimmten von den einzelnen Nadelbüscheln die durchschnittliche Länge, den Durchmesser der flachen Nadelfläche und den Durchmesser des Zylinders, den ein Nadelbüschel bei engem Anliegen der zwei oder drei Nadeln hat. Daraus berechneten sie die gesamte Blattoberfläche.

Bates ging so vor, daß er zunächst am Ende der Versuchsperiode von jedem Sämling das gesamte Volumen durch ein Eintauchen desselben in Wasser bis zum Wurzelhals ermittelte. Weiter stellte er die mittlere Länge und den Querschnitt der einzelnen Nadeln fest. Er berechnete nun das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen einer einzelnen Nadel und errechnete aus dieser Verhältniszahl und dem Gesamtvolumen der Pflanze die Nadeloberfläche einer Kiefernpflanze.

In der so bestimmten Gesamtoberfläche ist jedoch das Volumen des Stämmchens mit einem durchgehend, ungefähr aber gleichartigen Fehler eingeschlossen.

Ausgehend von der Gesamtnadelzahl der einzelnen Versuchszweige bestimmte Gordiagin [1916] die Gesamtoberfläche der transpirierenden Organe seiner Versuchszweige und bezog die Wasserabgabe auf 100 qcm Nadeloberfläche.

Dieselbe Bezugseinheit verwandte Iwanoff [1924]. Weiterhin brachte letzterer die auf 1 qcm Nadeloberfläche entfallende Wasserabgabe in Beziehung zu der als Einheit angenommenen Transpiration von Larix europaea und berechnete daraus die relative Transpirationsgröße.

Da die Transpiration in ganz besonderer Weise von der Besonnung abhängig ist, berechnete Bates [1923] die der Insolation dargebotene Nadeloberfläche. Das geschah in folgender Weise: Die Sämlinge wurden photographiert und die Fläche ermittelt, die von sämtlichen Nadeln auf graphischem Papier verdeckt wurde. Diese Vergleichsbasis bezeichnet er als „leaf exposure". Weil die Nadeln zum großen Teil übereinander liegen, beträgt die lichtbestrahlte Gesamtfläche nicht mehr wie ein Drittel der gesamten Nadeloberfläche. Wird der Stamm eliminiert, so ist das Verhältnis im allgemeinen etwa 1:6; bei P. aristata und P. flexilis, deren Nadeln eng aneinander liegen, ungefähr 1 : 10.

Weiter wurde die Trockengewichtszunahme als Bezugseinheit gewählt. Es wird von ähnlichen wie zu den Transpirationsversuchen verwendeten Sämlingen am Anfang der Versuchsperiode das Frisch- und Trockengewicht bestimmt und daraus das Verhältnis berechnet: der sogenannte Frischtrockengewichtsfaktor. Gleichzeitig wird das Anfangsfrischgewicht von den zu den Transpirationsversuchen verwendeten Pflanzen festgestellt und auf Grund des Frischtrockengewichtsfaktors das Anfangstrockengewicht derselben ermittelt. Die Differenz aus dem am Ende der Versuchsperiode bestimmten Trockengewicht und dem zu Beginn errechneten ergibt die Trockengewichtszunahme. So gingen Bates [1923] und Pearson [1924] vor.

Als weitere Vergleichsbasis verwendete Bates [1923] den Zuwachs des Frischgewichtes. Denselben bestimmte er so, daß am Anfang und am Ende der Versuchsperiode jeder Sämling, nachdem die Bodenpartikelchen weggespült und das anhaftende Wasser entfernt war, abgewogen wurde. Die Differenz zwischen dem so festgestellten Anfangs- und Endgewicht bedeutete den Frischgewichtszuwachs.

Endlich wird in anderen Versuchen das Frischgewicht an sich als Bezugseinheit gewählt.

Kusano [1901] bezog die Wasserabgabe bei P. Thunbergii auf 100 g Frischgewicht der ganzen Pflanze.

Bates [1923] ging bei Bestimmung des Frischgewichtes so vor, daß er das Anfangs- und Endfrischgewicht ermittelte wie oben ausgeführt, den Durchschnitt aus beiden nahm und auf ihn die Gesamttranspiration während der Versuchsdauer bezog.

Huber [1928] und Iwanoff [1924] bezogen die Transpiration auf das Frischgewicht der jeweils zu den Einzelversuchen verwandten Kiefernzweige. Letzterer wählte außerdem als Bezugseinheit das Nadelfrischgewicht der benützten Versuchszweige.

Bei meinen eigenen Transpirationsuntersuchungen verwendete ich ebenfalls das Frischgewicht. Nach Walter [1926] kommt bei Berechnung der Transpiration auf Frischgewicht die Eigenart der Pflanze viel mehr zum Ausdruck als dies bei Berechnung auf Oberflächeneinheit geschieht. Denn nicht nur die Beschaffenheit der Oberfläche, sondern auch die Oberflächenentwicklung kommt in gleichem Maß zur Geltung. Allerdings ist auch das Frischgewicht keine konstante Größe, da stets Wassergehaltsschwankungen in der Pflanze innerhalb kurzer Zeiträume stattfinden können. Die dadurch entstehenden Fehler sind jedoch gering, so daß dieselben unberücksichtigt bleiben dürfen.

Es war nun von Wichtigkeit, die Frage noch zu klären, ob die Transpiration auf das Frischgewicht des ganzen Zweiges oder nur auf die Nadelmasse bezogen werden sollte.

Wie aus der Tabelle 1 hervorgeht, ist der durchschnittliche prozentuale Anteil der Sproßachse an den einzelnen Versuchszweigen gering; außerdem ist die Sproßachse verholzt, so daß die Gesamttranspirationsgröße dadurch nicht beeinflußt wird.

Tabelle 1.

Der prozentuale Anteil der Sproßachse am gesamten Zweiggewicht.

Arten	Gesamtgewicht des Zweiges in g	Gewicht der Nadeln in g	Gewicht der Sproßachse in g	Gewicht der Sproßachse in % des Zweiggewichts
P. excelsa . . .	7,811	7,085	0,726	9,31
P. cembra . . .	6,230	5,424	0,806	12,90
P. peuce	6,563	5,802	0,761	11,59
P. silvestris . . .	7,430	6,492	0,938	12,62
P. montana . . .	15,192	12,869	2,323	15,29
P. austriaca . .	14,355	12,780	1,575	10,97
P. strobus . . .	5,749	5,116	0,633	11,01

In den Einzelversuchen aber, wo die Zweige verschieden lang abgeschnitten sind und deshalb der Sproßanteil immer ein anderer ist,

wird, wenn die Wasserabgabe auf das Gesamtgewicht des ganzen Versuchszweiges bezogen werden würde, die Transpirationshöhe beeinträchtigt. Aus diesem Grunde verwandte ich für meine Transpirationsuntersuchungen nicht das Frischgewicht des ganzen Zweiges, sondern das der Nadelmasse. Die Berechnung derselben ist im vorhergehenden Abschnitt besprochen worden. Die Transpirationsverluste, ausgedrückt in mg pro Minute, werden auf 1 g Nadelmasse umgerechnet.

Material und Standort.

Zur Untersuchung kamen folgende Arten: P. excelsa, P. cembra, P. peuce, P. silvestris, P. montana, P. austriaca und P. strobus.

Die hauptsächlichsten Untersuchungen wurden an Bäumen, die sich im botanischen Garten Tübingens befanden, ausgeführt.

Ergänzungsversuche stellte ich an einigen andern Plätzen an.

1. Im früheren Forstgarten am Schloßberg in Tübingen an P. excelsa, P. silvestris, P. austriaca und P. strobus.
2. In verschiedenen Gärten Tübingens an P. cembra und P. strobus.
3. Im forstlichen Versuchsgarten bei Lustnau an P. silvestris und P. strobus.

Die Versuche wurden an gesunden, möglichst freistehenden Bäumen ausgeführt.

Die Versuchskiefern waren über 30 Jahre alt, mit Ausnahme der P. strobus im forstlichen Versuchsgarten, die etwa 15jährig war.

Einfluß der Bodenfeuchtigkeit auf die Transpiration.

Daß die Bodenfeuchtigkeit neben anderen Faktoren einen maßgebenden Einfluß auf die Transpiration ausübt, ist schon verschiedentlich nachgewiesen worden, z. B. hat Stocker [1923] an den verschiedensten Pflanzen in dieser Richtung Untersuchungen angestellt. Aus ihnen geht hervor, daß sich Schwankungen im Wassergehalt des Bodens, solange letzterem noch genügend Feuchtigkeit zur Verfügung steht, in der Transpiration nicht bemerkbar machen. Sinkt aber die Bodenfeuchtigkeit unter eine bestimmte Grenze, so erfährt die Wasserabgabe eine sofortige Erniedrigung.

Dies gilt in entsprechender Weise auch für Pinus. So zeigte Bates [1923] dies für P. scopulorum, P. contorta und P. flexilis. In seinen Versuchstöpfen wurde die Bodenfeuchtigkeit, die am 3. September

12% betrug, allmählich vermindert, bis sie am 27. September auf 9,05% gesunken war. Der Boden enthielt statt 284,4 g Wasser wie ursprünglich nur noch 214,4 g. Diese Bodenfeuchtigkeit wurde bei den Versuchspflanzen bis zum 30. September beibehalten. In der Frühe des 30. September erhöhte Bates den Wassergehalt, indem er jedem Topf 50 g Wasser und am folgenden Morgen weitere 20 g hinzugab, so daß die ursprüngliche Feuchtigkeit von 12% wieder hergestellt war. Der Wasserverlust in den folgenden Tagen wurde nicht mehr ersetzt.

Der Erfolg der erhöhten Bodenfeuchtigkeit auf die Transpiration zeigte sich bereits am 1. Oktober, deutlicher aber am 2. Oktober. Die Wasserabgabe war am 2. Oktober bei P. scopulorum und P. contorta im Verhältnis zu der vom 28. bis 30. September um etwa 34% gestiegen, bei P. flexilis betrug die Zunahme nur 14,5% wie aus Tabelle 2 zu ersehen ist. In den folgenden Tagen, als der Wasserverlust nicht mehr

Tabelle 2.

Einfluß erhöhter Bodenfeuchtigkeit auf die Transpiration von Pinus nach Bates.

Arten	Topf-Nr.	Transpiration am Morgen des 28.9.	29.9.	30.9.	1.10.	2.10.	3.10.	4.10.	5.10.	6.10.	Prozentualer Anstieg am 2.10.
P. scopulorum	1	11,0	10,8	10,3	10,5	12,9	12,0	13,4	9,5	11,6	
	18	10,6	9,8	12,0	10,8	11,1	10,8	13,1	9,7	10,1	
	22	5,4	4,5	5,1	4,9	5,9	5,5	5,6	4,5	5,0	
	15	18,7	17,4	19,5	21,2	28,1	20,3	19,4	10,5	13,6	34,4
P. contorta	3	15,6	14,2	16,4	13,7	17,2	14,7	19,3	12,2	14,0	
	23	21,9	22,9	23,5	20,1	24,6	21,1	24,5	17,7	18,9	
	24	13,1	19,9	23,8	24,4	32,6	27,3	23,4	16,5	18,9	33,9
P. flexilis	21	4,5	3,6	4,2	4,5	6,0	5,3	5,5	4,0	5,5	
	16	16,9	16,4	17,8	20,2	28,8	24,0	21,3	13,1	16,3	14,5

ersetzt wurde, verminderte sich auch die Transpiration. Am 6. Oktober zeigte dieselbe bereits wieder die gleiche Rate wie am 28. September, in manchen Fällen war letztere sogar noch weiter gesunken.

Aus den Untersuchungen geht hervor, daß, sobald der Pflanze wieder genügend Feuchtigkeit zur Verfügung steht, sich dies in einer Erhöhung der Wasserabgabe äußert. Einer Verminderung der Bodenfeuchtigkeit folgt auch eine Einschränkung der Transpiration. P. flexilis reagiert verhältnismäßig schwach, was auf die gleichmäßige Wasserabgabe dieser Art zurückgeführt wird.

Zu denselben Ergebnissen kam Pearson [1924] in seinen Untersuchungen an P. scopulorum und P. aristata. In einer Versuchsserie wurde die Bodenfeuchtigkeit von 20%, bei der günstige Transpirationsverhältnisse geherrscht hatten, herabgesetzt, indem das Begießen der Töpfe unterlassen wurde. Die Transpirationsraten began-

nen unmittelbar zu fallen. Am Ende eines Monats betrugen dieselben in den meisten Fällen weniger als 3% der anfänglichen. Während dieser Zeit fiel der Wassergehalt des Bodens auf etwa 11%. In den folgenden Monaten war die Wasserabgabe kaum bemerkbar. Dieselbe hatte sich, wie aus Fig. 1 zu ersehen ist, schon in den ersten Tagen nach Aussetzen des Begießens, wo die Bodenfeuchtigkeit nur wenig

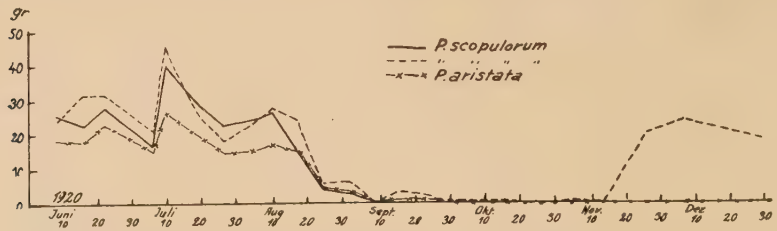

Fig. 1. Einfluß der Bodenfeuchtigkeit auf die Transpiration von Pinus. Begießen vom 10. August an unterlassen. Am 13. November Erhöhung der Bodenfeuchtigkeit bei P. scopulorum. Nach Pearson.

unter die Ausgangsfeuchtigkeit gesunken sein könnte, vermindert. Die Versuchspflanzen zeigten im Verlauf dieser Zeit ein ungesundes Aussehen, ließen aber keine Welkungserscheinungen erkennen. Nachdem nun die Pflanzen bei Eintritt von Schnee und Kälte in einem Gewächshaus untergebracht waren, wurde bei P. scopulorum die Bodenfeuchtigkeit wieder auf 20% erhöht, um dadurch festzustellen, ob die Pflanzen noch lebenskräftig waren. Die Transpiration erfuhr eine rasche Steigerung und erreichte wieder die ursprüngliche Höhe. Die übrigen Versuchspflanzen gingen zugrunde.

Die Abhängigkeit der Transpiration von der Bodenfeuchtigkeit zeigte sich auch in einigen meiner eigenen Untersuchungen. In der Zeit vom 21. bis 27. August, einer ausgesprochenen Schönwetterperiode, wurde P. peuce an zwei Standorten untersucht, die extreme Unterschiede aufwiesen. Während der eine Standort durch die andauernde starke Sonnenhitze sehr ausbrannte, so daß sich tiefe Risse im Boden zeigten, war am andern die Gefahr des Austrocknens gering. Denselben schützte eine dichte Pflanzendecke vor zu großem Wasserverlust. Diese Standortsunterschiede drückten sich in der Transpiration der betreffenden Versuchsbäume aus. Der eine, der auf ausgetrocknetem Boden stand, gab weniger Wasser ab, als der auf feuchtem Standort (Fig. 2).

Die Transpirationseinschränkung ergab sich noch deutlicher bei Transpirationsbestimmungen an P. cembra und P. strobus in Gärten von Tübingen. Von P. strobus wurden zwei Exemplare untersucht. Das eine der beiden stand in einem kleinen Vorgarten, der einerseits von der Hausfront, andererseits von der Straße begrenzt war; das

andere wuchs auf einer gegen die Straße abschüssigen Stelle, die auf einer Seite mit einer hohen Mauer abschloß. In unmittelbarer Nähe der letzteren befand sich P. cembra.

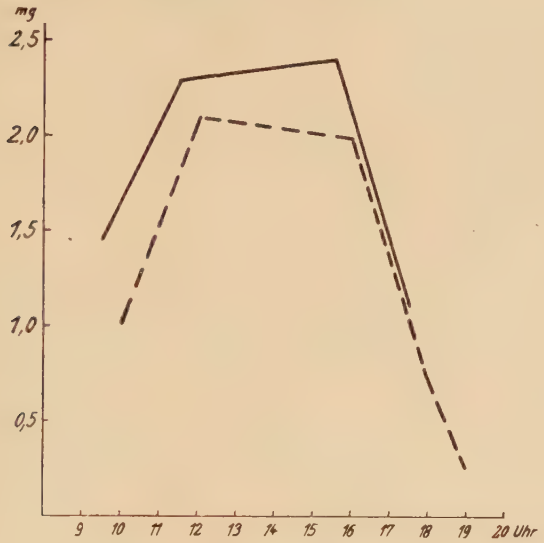

Fig. 2.
Einfluß der Bodenfeuchtigkeit auf die Transpiration von P. peuce.

Die Untersuchungen zeigten für sämtliche Bäume ganz extrem niedere Werte, die ungefähr den 6. bis 7. Teil dessen betrugen, was die entsprechenden Arten im botanischen Garten in den anschließenden Kontrollversuchen ergaben (Tabelle 3).

Tabelle 3.

Transpiration von P. cembra und P. strobus in Gärten Tübingens.

	Zeit		Zeit	
Waldhäuser Straße				
P. strobus				
Trockenes Thermometer . . .	11.05	19,0	11.20	20,7
Feuchtes Thermometer . . .		12,3		12,7
Psychrometerdifferenz . . .		6,7		8,0
Transpirationsrate in mg pro Minute . . .		0,20		0,15
Österbergstraße				
P. strobus				
Trockenes Thermometer . . .	12.12	19,9	12.43	20,7
Feuchtes Thermometer . . .		12,5		12,6
Psychrometerdifferenz . . .		7,4		8,1
Transpirationsrate in mg pro Minute . . .		0,15		0,17

	Zeit		Zeit	
P. cembra				
Trockenes Thermometer . . .	12.30	20,4	12.56	20,9
Feuchtes Thermometer . . .		12,6		12,5
Psychrometerdifferenz		7,8		8,4
Transpirationsrate in mg pro Minute . . .		0,28		0,28
Botanischer Garten				
P. strobus				
Trockenes Thermometer . . .	14.20	21,6		
Feuchtes Thermometer . . .		13,0		
Psychrometerdifferenz		8,6		
Transpirationsrate in mg pro Minute . . .		0,72		

Daß diese niederen Transpirationsraten durch die trockenen Bodenverhältnisse und nicht durch die atmosphärischen Faktoren bedingt sind, bewiesen die anschließenden Versuche im botanischen Garten.

Aus diesen Untersuchungen geht hervor, daß die Kiefern die Transpiration auf ein Minimum einzuschränken vermögen, wenn der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens auf einen geringen Betrag gesunken ist.

In diesem Zusammenhang ist es von Interesse, die Wirkung weitergehender Trockenheit auf die Kiefernpflanzen zu verfolgen, die dann zum Welken führt (Welkungskoeffizient = Wassergehalt des Bodens, ausgedrückt in % seines Trockengewichts, zur Zeit des Welkens).

Bates [1923] stellte den Welkungskoeffizienten für P. scopulorum und P. contorta zunächst in fünf Bodenarten fest. Wie aus der folgenden Tabelle 4 hervorgeht, besitzt P. contorta stets einen höheren Welkungskoeffizienten als P. scopulorum.

Tabelle 4.

Der mittlere Welkungskoeffizient für P. scopulorum und P. contorta nach Bates.

Bodenart	Mittlerer Welkungskoeffizient in %	
	P. scopulorum	P. contorta
Granitsand, sandiger Lehm	2,28	2,42
Zusammengesetzt: Kalkstein, Lehm	2,23	4,12
„ Sandstein, Lehm	4,10	5,29
Prairielehm	7,80	8,69
„ Lava, Schlammlehm . . .	4,52	6,00

In weiteren Untersuchungen wurde der Welkungskoeffizient von diesem Autor für eine große Anzahl von Böden verschiedenster Her-

kunft bestimmt. Um die erhaltenen Ergebnisse zu einem Vergleich unter den Arten heranziehen zu können, stellte Bates von jedem Boden das Feuchtigkeitsäquivalent fest und setzte den Welkungskoeffizienten zu letzterem ins Verhältnis. Aus diesen Verhältniszahlen wurden die mittleren Werte berechnet.

Die angenäherten mittleren Verhältniswerte sind für

P. contorta 0,35 und für
P. scopulorum 0,33.

Die Differenzen des Welkungskoeffizienten sind hiernach sehr geringe.

Zu ähnlichen Ergebnissen kam Pearson [1924], der in einem steinigen Lehmboden und in einem, der zur Hälfte aus Lehm und zu andern aus Sand bestand, den Welkungskoeffizienten für P. ponderosa und P. aristata festlegte. Wie aus Tabelle 5 hervorgeht, bestehen zwischen den beiden Species nur geringe Unterschiede innerhalb derselben Bodenarten.

Tabelle 5.

Der Welkungkoeffizient für P. scopulorum und P. aristata nach Pearson.

Bodenart	Welkungskoeffizient in % für	
	P. aristata	P. scopulorum
Steiniger Lehmboden	10,56	10,55
Steiniger Lehm und Sand je zur Hälfte . .	6,35	5,80

Es wäre nun interessant, den Welkungskoeffizienten noch bei anderen Pinusarten festzulegen.

Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Transpiration.

Systematisch durchgeführte Untersuchungen über den Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Transpirationsgröße fehlen noch weitgehend. In älteren und neueren Beobachtungen wurde festgestellt, daß Pflanzen in feuchter Luft weniger Wasser abgeben als solche in trockener.

Untersuchungen mit dieser Fragestellung in der Gattung Pinus sind mir unbekannt. Meine eigenen ergeben in dieser Hinsicht keine festen Anhaltspunkte, die zu spezieller Behandlung der Frage Anlaß bieten könnten.

Einfluß der Temperatur auf Transpiration.

Die Frage nach dem Einfluß der Temperatur auf die Transpiration ist dahin zu beantworten, daß eine Temperatursteigerung eine Erhöhung der Wasserabgabe, eine Herabsetzung eine Verminderung zur Folge hat.

Speziell in der Gattung Pinus konnte Kusano [1901] durch Untersuchungen an P. Thunbergii während der Monate Januar bis März zeigen, daß mit der Abnahme der Temperatur auch eine Verminderung der Wasserabgabe eintritt, die, wie aus Tabelle 6 hervorgeht, bei der niedersten Temperatur von 1—2 ° C den minimalsten Wert Ende Januar erreicht. Mit Steigerung der Temperatur setzt auch eine Erhöhung der Transpiration ein. Die Transpirationsverluste bei 7,4 ° bis 8,4 ° C im März betragen etwa das Dreifache der vom Januar.

Tabelle 6.

Durchschnittliche tägliche Transpirationsverluste von P. Thunbergii nach Kusano.

Periode	Mittlere Temperatur C	Transpiration in 24 Std. pro 100 g Frischgewicht in g
28. Dezember bis 4. Januar . . .	4,5 °	12,3
4. Januar „ 11. „ . . .	4,0 °	5,4
17. „ „ 24. „ . . .	2,2 °	6,7
24. „ „ 28. „ . . .	1,7 °	4,8
31. „ „ 4. Februar . . .	3,1 °	5,4
14. Februar „ 21. „ . . .	2,0 °	9,7
25. „ „ 28. „ . . .	7,4 °	11,0
21. März „ 24. März	8,4 °	16,5

Entsprechende Beobachtungen machten Weaver und Mogensen [1919]. Sie konnten durch die Wintermonate an P. ponderosa eine deutliche Beziehung zwischen Transpiration und Temperatur feststellen wie aus Fig. 3 ersichtlich ist.

Wenn Pearson [1924] beim Verbringen seiner unbegossenen Versuchspflanzen aus einer Temperatur von 0 ° C in eine solche von + 13 ° C keine Erhöhung der Transpiration feststellte, so liegt dies natürlich an dem Wassermangel des Bodens der Versuchspflanzen.

Allgemein erweisen aber die Versuche die anfangs erörterten Beziehungen.

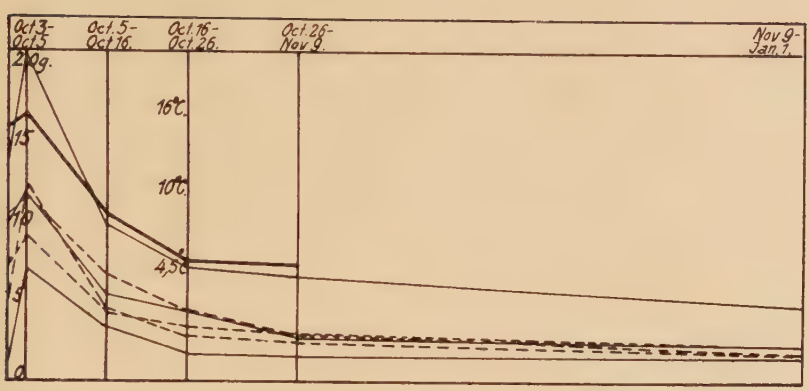

Fig. 3. Täglicher Wasserverlust in g von sechs drei Jahr alten P. pouderosa vom 24. September bis 1. Januar. — Stark ausgezogene Linie stellt die mittlere Temperatur dar. Nach Weaver und Mogensen.

Einwirkung des Lichtes auf die Transpiration.

Neben den genannten Faktoren übt das Licht einen ganz besonderen Einfluß auf die Transpiration aus. Dies zeigen z. B. Versuche an Pflanzen, deren Wasserabgabe in der Sonne und im Schatten verfolgt wurde.

Schon Höhnel [1881] stellte in der Gattung Pinus solche Versuche an und zwar mit P. silvestris und P. Laricio. Es ergab sich, daß die Versuchspflanzen am Sonnenstandort größere Transpirationsverluste aufweisen als am Schattenstandort (Tabelle 7).

Tabelle 7.

Transpirationsverluste von P. silvestris und P. Laricio am Sonnen- und Schattenstandort nach Höhnel.

Arten	Transpirationsrate in g auf 100 g Blattlufttrockengewicht	
	Sonnenstandort	Schattenstandort
P. silvestris	11 926	10 462
P. Laricio	7 603	4 204

Ähnliche Feststellungen machte Burns [1915] an Topfpflanzen von P. strobus. Er verfolgte deren Transpiration in der Sonne, im Halbschatten und im Schatten. Die Versuche zeigen, daß das Sonnenexemplar 21 mal, das im Halbschatten 8 mal mehr Wasser abgab als das Schattenexemplar.

Im Gewächshaus beobachtete Bates [1923] an seinen Versuchskiefern die Wasserabgabe bei Sonnenschein, bei hellem und bei dunklem diffusen Licht. Um vergleichende Betrachtungen anstellen zu können, bestimmte er die durchschnittliche Transpiration einer

sogenannten Standardpflanze, die über 400 Minuten Sonnenschein am Tag genoß. Die Wasserabgabe der Versuchspflanzen wurde in das prozentuale Verhältnis zu der der Standardpflanze gesetzt.

Tabelle 8.

Einfluß des Lichtes auf die Transpiration verschiedener Pinusarten nach Bates.

Bedingungen	Anzahl der Tage	Arten P. scopulorum	P. contorta	P. flexilis	P. aristata
durchschnittl. Transpiration (ccm pro Tag normal) kein Wind, über 400 Minuten Sonnenschein . .	12	21,82	11,86	9,62	13,22
proportionale Transpiration in % kein Wind, weniger als 400 Minuten Sonnenschein . .	11	62	54	62	59
kein Wind, helles, diffuses Licht	19	32	21	31	25
kein Wind, dunkles diffuses Licht	7	23	17	18	18

Aus den in Tabelle 8 angeführten Versuchsdaten ergibt sich, daß mit abnehmender Lichtintensität auch die Wasserabgabe sich verringert. Wenn bei weniger als 400 Minuten Sonnenschein die Wasserabgabe noch über 60% der Transpirationsmenge eines Normaltages ist, so variiert dieselbe an bewölkten Tagen, also bei dunklem diffusen Licht zwischen 17 und 23% und bei hellem zerstreuten Licht zwischen 21 und 32% der Normalpflanze.

Die Transpiration ist also, wie diese Versuche zeigen, in weitgehendstem Maße von der Lichtintensität abhängig.

Ähnliche Beobachtungen machte ich an einzelnen Versuchstagen. Wenn die Lichtmenge beträchtlichen Schwankungen unterworfen war, wie dies für teilweise bewölkte Tage zutrifft, so drückte sich dies deutlich in einer Veränderung der Transpirationsverluste aus. Dabei war auffallend, daß die Veränderungen in der Wasserabgabe auf erhöhten bzw. verminderten Lichteinfluß sehr rasch vor sich gehen. Um diesen Zusammenhang weiter zu klären, war es von Interesse, in dieser Hinsicht besondere Untersuchungen anzustellen.

Methodik der Versuche.

Die Untersuchungen kamen nicht an ganzen Zweigen, sondern an einzelnen Nadelbüscheln von P. peuce, P. excelsa und P. montana zur Ausführung. Es wurden dadurch Transpirationsschwankungen, die an die Zweige gebunden sind, ausgeschaltet. Die einzelnen Nadeln

stammten möglichst von gleicher Expositionsstelle. Zu jedem Versuch verwendete ich zwei Zweige, von denen der eine dauernd dem Sonnenlicht ausgesetzt war, während der andere zu bestimmter Zeit beschattet bzw. belichtet wurde.

Als Schattenfläche diente starkes weißes Papier, das über einen Holzrahmen gespannt war. Dieselbe befand sich in einer Entfernung von 25—30 cm von dem betreffenden Versuchszweig.

Die zu den Untersuchungen verwendeten Zweige wurden durchschnittlich eine Stunde auf ihre Wasserabgabe unter gleicher Exposition beobachtet. Nachdem die verhältnismäßig geringen Schwankungen festgestellt waren, erfolgte in einem bestimmten Zeitpunkt die Beschattung des einen Versuchszweiges. Kurz vor derselben machte ich noch eine Transpirationsbestimmung, der sofort nach der Beschattung sich eine zweite anschloß. Die folgenden Messungen wechselten nun unter beiden Versuchszweigen durch längere Zeit hindurch. Auf die letzte Bestimmung am beschatteten Zweig erfolgte Belichtung und unmittelbar anschließend eine weitere Messung. Nachdem sich beide Zweige wieder unter gleichen Bedingungen befanden, wurde der Transpirationsverlauf noch eine Stunde lang verfolgt und der Versuch abgeschlossen.

Versuche.

Die Einwirkung von Beschattung bzw. Belichtung auf die Transpiration untersuchte ich morgens an einem Exemplar von P. peuce. Tabelle 9 gibt die einzelnen Transpirationsdaten wieder, die in Fig. 4 graphisch dargestellt sind.

Tabelle 9.

Die Einwirkung von Beschattung bzw. Belichtung auf die Transpiration von P. peuce.

Versuchszweig dauernd dem Sonnenlicht exponiert					Versuchszweig beschattet bzw. belichtet				
Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Transpr. in mg pro g Frischgew. pro Min.	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Transpr. in mg pro g Frischgew. pro Min.
8.31	13,0	11,9	1,1	0,92	8.37	13,1	11,9	1,2	0,93
8.45	13,3	12,0	1,3	1,22	8.54	14,0	12,1	1,9	1,37
9.04	14,1	12,4	1,7	1,24	9.15	14,8	12,7	2,1	1,33
					9.24	15,1	13,1	2,0	1,35
					9.28	beschattet			
9.36	15,6	13,4	2,2	1,60	9.30	15,6	13,4	2,2	1,28
					9.41	15,8	13,4	2,4	1,21
9.56	16,3	13,7	2,6	1,78	9.47	16,1	13,5	2,6	1,37
10.09	17,9	14,0	3,9	1,90	10.00	16,3	13,7	2,6	1,41
10.17	17,9	14,0	3,9	2,02	10.27	18,1	14,1	4,0	1,44
					10.30	belichtet			
10.39	18,6	14,8	3,8	2,74	10.32	18,8	15,4	3,4	2,70
10.53	19,1	15,4	3,7	2,78	10.47	19,2	15,6	3,6	2,80
11.11	19,6	15,4	4,2	2,96	11.05	19,8	15,7	4,1	2,88

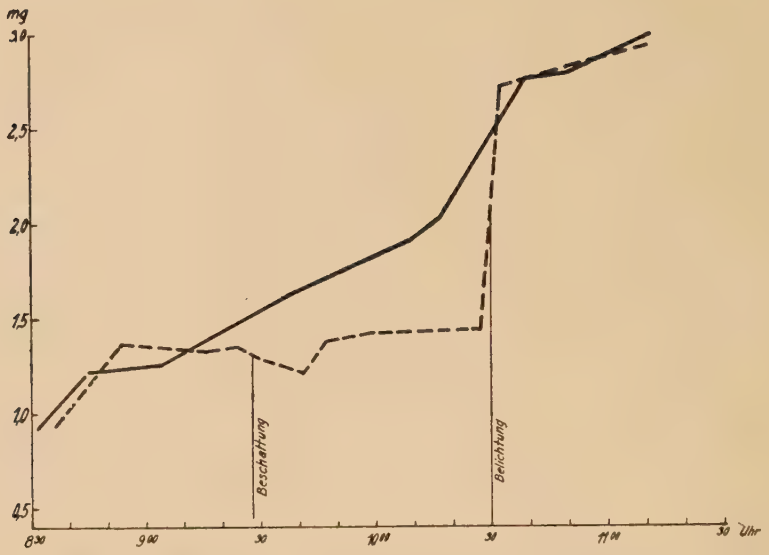

Fig. 4. Einfluß der Beschattung und Belichtung auf die Transpiration von P. peuce.
——— Besonnter Zweig.
– – – – Beschattet-belichteter Zweig.

Die Transpirationsraten zeigen in der ersten Stunde, solange sich beide Versuchszweige noch unter gleichen Bedingungen befinden, nur geringe Unterschiede. Mit dem Zeitpunkt, in dem der eine Versuchszweig beschattet wurde, trat bei demselben eine sofortige Erniedrigung der Wasserabgabe ein, die während der Zeit der Beschattung nur eine geringe Steigerung erfuhr. Der Sonnenzweig dagegen weist einen raschen Anstieg auf. Mit Belichtung des Schattenzweiges geht aber die Transpirationserhöhung momentan vor sich und zeigt einen mit dem Sonnenzweig übereinstimmenden Wert. In den letzten Bestimmungen, wo die Versuchszweige gleich exponiert waren, ergeben sich geringfügige Unterschiede, die auf individuelle Schwankungen im Zweigsystem zurückzuführen sind.

Ein zweiter Versuch folgte um die Mittagszeit an einem andern Exemplar von P. peuce. Tabelle 10 gibt die einzelnen Daten.

Tabelle 10.

Die Einwirkung von Beschattung bzw. Belichtung auf die Transpiration von P. peuce.

Versuchszweig dauernd dem Sonnenlicht exponiert					Versuchszweig beschattet bzw. belichtet				
Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Transpr. in mg pro g Frischgew. pro Min.	Zeit	trock. Therm.	feucht Therm.	Psych.-diff.	Transpr. in mg pro g Frischgew. pro Min.
11.23	20,4	17,0	3,4	0,80	11.14	20,3	16,9	3,4	0,76
11.35	20,6	16,7	3,9	0,88	11.29	20,6	16,8	3,8	0,94
11.49	20,9	16,8	4,1	0,92	11.43	20,9	16,8	4,1	1,00
					12.04	21,1	16,7	4,4	1,05
					12.14	21,4	16,9	4,5	1,15
12.21	21,5	16,8	4,7	1,03	12.29	21,8	16,8	5,0	1,14
					beschattet 12.31				
12.38	22,3	17,1	5,2	1,25	12.32	22,3	17,1	5,2	0,80
12.57	22,5	17,0	5,5	1,28	12.50	22,5	17,0	5,5	0,88
13.40	22,9	16,7	6,2	1,05	13.25	23,0	16,8	6,2	0,84
					13.54	23,0	16,7	6,3	0,67
					14.33	22,6	16,8	5,8	0,76
14.41	21,5	16,3	5,2	1,13	14.49	21,5	16,3	5,2	0,86
					belichtet 14.52				
15.0	21,7	16,4	5,3	1,09	14.43	21,8	16,4	5,4	1,09
15.15	21,6	16,5	5,1	1,13	15.19	21,6	16,5	5,1	1,01
15.49	21,4	16,4	5,0	1,09	15.41	21,3	16,4	4,9	1,13

Wie aus Fig. 5 ersichtlich ist, trat wiederum auf Beschattung eine augenblickliche Erniedrigung ein. Die Wasserabgabe des Schattenzweiges war stets niederer als die des Sonnenzweiges. Die Belichtung rief aber wieder eine plötzliche Steigerung der Transpiration hervor; hierauf ergaben die Versuchszweige übereinstimmende Werte.

Die Versuche am P. excelsa und P. montana brachten prinzipiell die gleichen Ergebnisse. Die Reaktionen auf Beschattung wie auf Belichtung traten momentan ein.

Diese raschen Transpirationsänderungen auf Belichtung und Beschattung dürften weitgehend mit den Spaltöffnungsbewegungen in Verbindung stehen. Wie vielfach festgestellt ist, reagieren die Stomata auf das Licht derart, daß mit dem Einsetzen stärkerer Belichtung ein weiteres Öffnen der Spalten eintritt und umgekehrt mit Verminderung des Lichtgenusses eine Verringerung der Spaltenweite erfolgt.

Stalfelt [1927] konnte an Picea excelsa durch Infiltration feststellen, daß bei Belichtung die Reaktionen mit großer Schnelligkeit verlaufen. Gegenüber Vicia faba ergab sich, daß die Öffnungsgeschwindigkeit der Spaltöffnungen bei Picea excelsa etwa 60 mal so groß ist als bei Vicia faba.

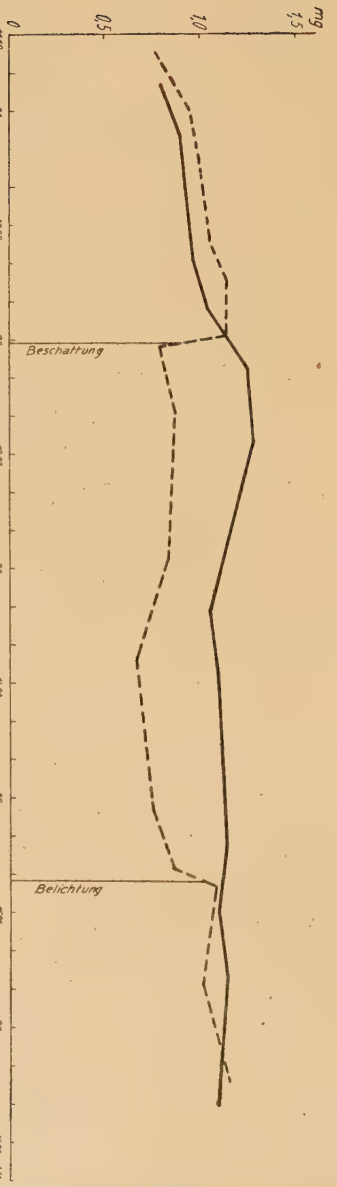

Fig. 5. Einfluß der Beschattung und Belichtung auf die Transpiration von P. peuce.
——— Besonnter Zweig. — — — — Beschattet-belichteter Zweig.

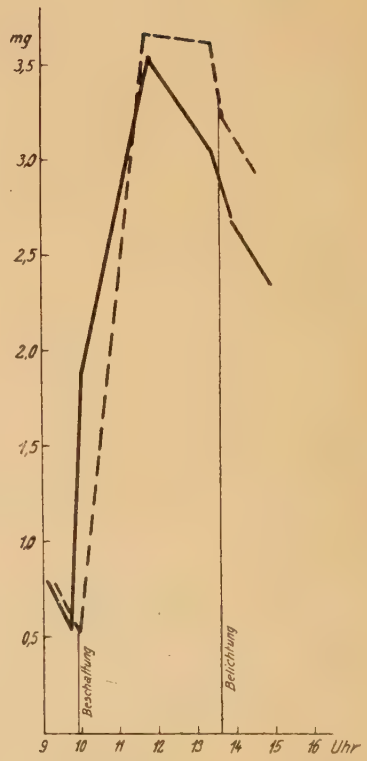

Fig. 6.
Einfluß von Beschattung und Belichtung auf die Wasserabgabe abgetöteter Zweige P. peuce.
——— Besonnter Zweig.
— — — — Beschattet-belichteter Zweig.

Um nun die Frage zu klären, ob diese von mir festgestellten raschen Transpirationsänderungen auf verschieden starken Lichteinfluß lediglich eine Reaktion des Spaltenapparates sind, führte ich Versuche

mit abgetöteten Zweigen aus. Am Abend vor dem Versuchstag wurden Zweige von denselben Arten eingesammelt und die Nacht über mit schweflig-sauren Dämpfen abgetötet. Die Versuchsanstellung blieb genau dieselbe wie bei den lebenden Zweigen. Ein Zweig war dauernd dem Sonnenlicht exponiert, während der andere zu bestimmter Zeit beschattet bzw. belichtet wurde. Nachstehend folgen die Angaben über die Versuche an P. peuce.

Tabelle 11.

Die Einwirkung der Beschattung bzw. Belichtung auf die Wasserabgabe abgetöteter Zweige von P. peuce.

Versuchszweig dauernd dem Sonnenlicht exponiert					Versuchszweig beschattet bzw. belichtet				
Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Transpr. in mg pro g Frischgew. pro Min.	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Transpr. in mg pro g Frischgew. pro Min.
9.11	6,8	5,8	1,0	0,78	9.16	6,8	5,8	1,0	0,78
9.44	9,6	8,1	1,5	0,54	9.47	9,6	8,2	1,4	0,54
					beschattet 9.54				
10.00	10,0	8,4	1,6	1,86	9.56	10,0	8,4	1,6	0,52
11.47	15,6	11,7	4,9	3,51	11.43	15,6	11,7	3,9	3,65
13.25	16,9	12,1	4,8	3,02	13.27	16,9	12,0	4,9	3,61
					besonnt 13.38				
13.49	16,6	11,9	4,7	2,70	13.42	16,7	11,8	4,9	3,20
14.54	16,3	11,5	4,8	2,35	14.30	16,5	12,0	4,5	2,94

Tabelle 12.

von P. excelsa.

11.12	14,0	10,9	3,1	0,52	11.25	14,0	10,9	3,1	0,50
12.05	16,6	12,5	4,1	1,69	12.10	16,6	12,5	4,1	2,17
13.32	16,8	12,0	4,8	1,57	13.37	16,9	12,0	4,9	1,55
						beschattet 13.48			
13.55	16,4	11,5	4,9	1,80	14.00	16,4	11,7	4,7	1,90
14.52	16,5	11,8	4,7	1,67	14.54	16,5	11,8	4,7	1,48
						belichtet 15.30			
15.24	16,3	11,6	4,7	2,63	15.36	16,3	11,8	4,5	1,98
15.54	15,9	11,7	4,2	2,17	16.12	16,0	11,8	4,2	1,67

Aus Fig. 6 geht hervor, daß die Beschattung bzw. die Belichtung auf die Wasserabgabe der abgetöteten Zweige keinen Einfluß ausübt. Vielmehr liegen die Werte bei dem beschatteten Zweig noch höher als bei dem durchgehend besonnten Zweig. Die Wasserabgabe erfährt keine Regulierung.

Dasselbe Ergebnis zeigt der Versuch an P. excelsa (Tabelle 12). Die Wasserabgabe des abwechslungsweise beschatteten belichteten Zwei-

ges erfährt auf Beschattung bzw. Belichtung keine Änderung wie aus Fig. 7 hervorgeht.

Diese Untersuchungen führen zu dem Schluß, daß die kutikuläre Komponente der Transpiration ohne Anteil an der bei lebenden Zweigen beobachteten Transpirationsänderungen bei Beschattung

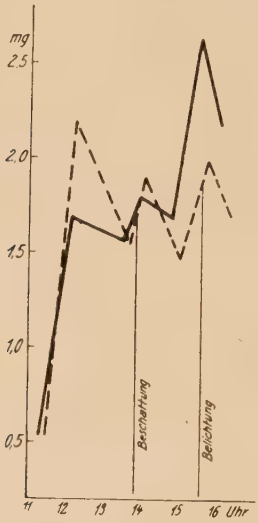

Fig. 7.
Einfluß von Beschattung und Belichtung auf die Wasserabgabe abgetöteter Zweige von P. excelsa.
_____ Besonnter Zweig.
– – – – Beschattet-belichteter Zweig.

bzw. bei Belichtung ist. Die eintretenden Reaktionen bei denselben dürften demnach auf Spaltöffnungsregulationen zurückzuführen sein.

Diese große Empfindlichkeit der Stomata auf verschiedene Lichtintensitäten hat für die Kiefern wichtige ökologische Folgen. Sie sind dadurch in der Lage, jede kurze Lichtperiode rasch auszunützen, andererseits haben sie die Möglichkeit, Transpirationssteigerungen zu gegebener Zeit einzuschränken.

Nachdem diese Feststellungen gemacht waren, suchte ich dieselben mit Hilfe der Stalfeltschen Infiltrationsmethode zu erhärten, was aber bei meinem Material nicht zu einwandfreien Ergebnissen führte.

Tägliche Schwankungen in der Transpiration.

Untersuchungen über den täglichen Transpirationsverlauf in der Gattung Pinus sind mir aus der Literatur nicht bekannt geworden. Bei genauerem Eingehen auf die Transpirationsfragen erweisen sich aber solche Untersuchungen als sehr wichtig.

Betrachtet man den Transpirationsverlauf an den einzelnen Versuchstagen, so ergibt sich ganz allgemein, daß die Wasserabgabe in den frühen Morgenstunden am geringsten ist. Im Laufe des Vormittags erfährt sie eine rasche Erhöhung bis etwa gegen 11 Uhr, die sich dann bis zum Spätnachmittag in geringerem Maße fortsetzt. Nachdem die maximale Wasserabgabe erreicht ist, erfolgt gegen Abend ein rascher Abfall.

An den Einzeltagen aber zeigen sich mit der Veränderung der Wetterbedingungen nicht unerhebliche Verschiedenheiten. Einzelne Beispiele sollen dies näher erläutern.

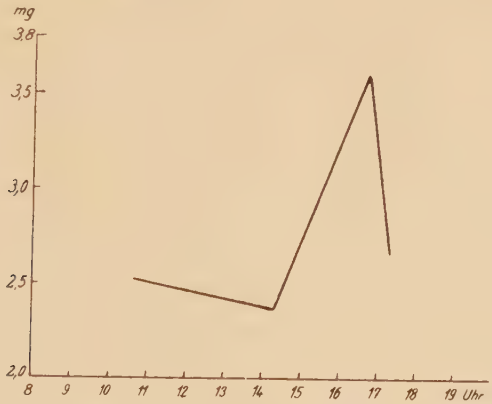

Fig. 8. Der Transpirationsverlauf von P. excelsa am 12. Juni.

Am 12. Juni wurde P. excelsa untersucht. Der Versuchstag selbst zeigte meistens bedeckten Himmel, nur manchmal brach die Sonne durch. Die relative Luftfeuchtigkeit schwankte zwischen 58% und 70% und die Temperatur zwischen 19,2 ° C morgens und 23,6 ° C mittags.

Die erste Messung erfolgte 10.36 Uhr bei leicht bedecktem Himmel. Der Transpirationsverlust betrug 2,52 mg auf 1 g Frischgewicht pro Minute. Bei der zweiten Bestimmung um 14.18 Uhr, wo der Himmel stark bewölkt war, trat eine Erniedrigung der Wasserabgabe auf 2,37 mg ein. Während des nächsten Versuches war Sonnenschein. Infolge der gesteigerten Lichtmenge erfuhr auch die Wasserabgabe einen außerordentlichen Anstieg, der in 3,6 mg den maximalen Wert an diesem Tage erreichte. Gegen Abend trat ein rascher Abfall der Transpiration ein (Fig. 8).

Der am 15. Juli an demselben Exemplar angestellte Versuch fiel auf einen ausgesprochenen Sonnentag. Der Schwankungsbereich der relativen Luftfeuchtigkeit lag zwischen 70% morgens und 25% nachmittags. Die Temperatur hatte morgens 13,3 ° C, mittags 21,1 ° C.

Fig. 9. Transpirationsverlauf von P. excelsa am 15. Juli.

Wie aus Fig. 9 hervorgeht, weist der Gang der Wasserabgabe keinerlei Schwankungen auf. Mit dem Höhersteigen der Sonne steigert sich auch die Wasserabgabe, um gegen Abend rasch abzufallen. Die einzelnen Tagesphasen des Transpirationsverlaufs sind aber nicht gleichmäßig. Zwischen der ersten und zweiten Messung erfolgt ein rascher Anstieg, der zur Zeit des höchsten Sonnenstandes abgeschwächt wird. Erst am Spätnachmittag tritt eine erneute starke Erhöhung der Wasserabgabe ein, die mit 2,58 mg den höchsten Wert erreicht. Gegen Abend erfolgt zunächst ein allmählicher, dann aber ein rascher Abfall.

Welche Wirkungen ein Sonnentag und ein bewölkter Tag auf die periodische Wasserabgabe hat, zeigen weiter die Versuche vom 14. und 15. Juni an P. peuce, P. cembra und P. strobus.

Am 14. Juni wurden P. peuce und P. cembra untersucht. Der Versuchstag war d a u e r n d s o n n i g. Die Temperatur schwankte zwischen 14,7 ° und 20 ° C, die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 90 und 45%.

Die beiden Kurven in Fig. 10 weisen in ihrem Tagesverlauf keine größeren Schwankungen auf. Wie aus denselben zu ersehen ist, erfolgt morgens ein rascher Anstieg der Transpiration, die gegen 11 Uhr bei P. peuce eine Höhe von 2,32 mg , bei P. cembra von 2 mg erreicht. Dieser Anstieg erfährt bei beiden Arten eine weitere Steigerung. Inzwischen stieg die Temperatur von 19° auf 20° C, während die rela-

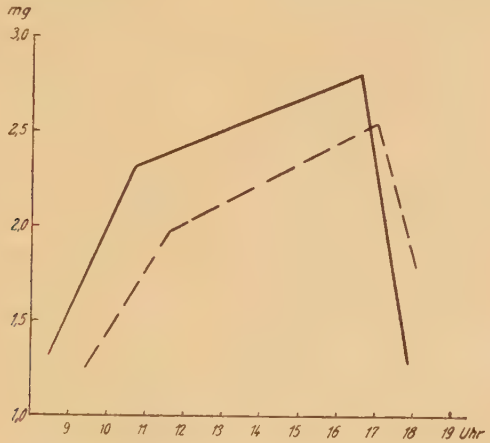

Fig. 10. Transpirationsverlauf von P. cembra und P. peuce am 14. Juni.
_____ P. peuce. — — — P. cembra.

tive Luftfeuchtigkeit auf 45% sank. Der Wasserverlust beträgt gegen 5 Uhr bei P. peuce 2,8 mg und bei P. cembra 2,56 mg. Gegen Abend tritt mit Verminderung der Temperatur und Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit ein rapider Abfall der Transpiration ein.

Ganz anders verhält sich die Wasserabgabe am folgenden Tage bei P. peuce und P. strobus. Dieser Versuchstag zeigte d a u e r n d b e w ö l k t e n H i m m e l. Die Temperatur war sehr niedrig; sie schwankte zwischen 14° und 15,6° C. Die relative Luftfeuchtigkeit bewegte sich den Tag über innerhalb 80 und 90%.

Bereits morgens wurde die maximale Transpirationsrate erreicht, der nur bei P. strobus gegen Mittag ein geringer Anstieg folgt. Abends tritt rascher Abfall ein (Fig. 11). Vergleicht man die Ergebnisse der beiden Versuchstage miteinander, so treten die Unterschiede klar zutage. Da die Versuche auf zwei aufeinanderfolgende Tage fielen, können nur die an die Atmosphäre gebundenen Faktoren dafür verantwortlich gemacht werden. Die Bodenfeuchtigkeit hat keine nachteiligen Änderungen erfahren. Daß die Temperatur innerhalb kleinerer Grenzen kaum einen Einfluß auf die Wasserabgabe ausübt, ist wohl aus diesen Versuchen zu schließen. Während P. strobus und

P. peuce am 15. Juni in der Zeit zwischen 11 und 16 Uhr, trotz Erhöhung der Temperatur um durchschnittlich 1,2 ° C. keine Steigerung der Transpiration erfahren haben, ist eine solche am 14. Juni zu der Tageszeit eingetreten. Die Temperaturdifferenz betrug etwa 1 ° C. Die Hauptfaktoren dieser Erhöhung am 14. Juni werden vor allem die relative Luftfeuchtigkeit und die Lichtintensität sein. Der Ver-

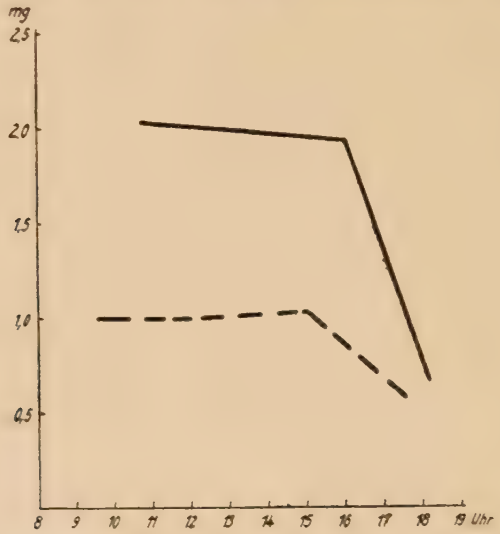

Fig. 11. Transpirationsverlauf von P. peuce und P. strobus am 15. Juni.
_____ P. peuce. — — — P. strobus.

gleich von P. peuce ergibt an beiden Versuchstagen um 16 Uhr eine Differenz in der Wasserabgabe von 0,9 mg auf 1 g Frischgewicht pro Minute.

Neben der relativen Luftfeuchtigkeit übt die Lichtintensität einen besonderen Einfluß aus, wie bereits früher erwähnt worden ist. In bezug auf die täglichen Schwankungen zeigt dies ein Versuch an P. austriaca (Fig. 12). Derselbe wurde am 16. Juli ausgeführt. Bei der ersten Bestimmung morgens war Sonnenschein, allmählich bewölkte sich der Himmel, um sich erst gegen Abend wieder aufzuheitern. Die Temperatur zeigte morgens 15,9 ° C. die bis zum Mittag eine Steigerung auf 22 ° erfuhr. Die relative Luftfeuchtigkeit war in den Morgenstunden sehr hoch. 9.30 Uhr betrug dieselbe 80% und gegen 14 Uhr 42%. Dann erfolgte wieder eine Erhöhung derselben.

Die Transpiration war morgens 9.30 Uhr relativ hoch. Der Wasserverlust betrug 1 mg. Mit Verringerung der Lichtmenge durch eintretende Bewölkung verminderte sich die Wasserabgabe, so daß sie

mittags 14.18 Uhr auf 0,83 mg gesunken war, obwohl die relative Luftfeuchtigkeit sich von 80% auf 42% erniedrigte. Als später die Sonne zum Durchbruch kam, trat auch eine sofortige Erhöhung der Transpiration wieder ein. Die Transpirationsrate betrug nun 1,14 mg.

Wie diese Beispiele zeigen, ist die Transpiration großen täglichen Schwankungen unterworfen. Es wurden nun in der Versuchsserie

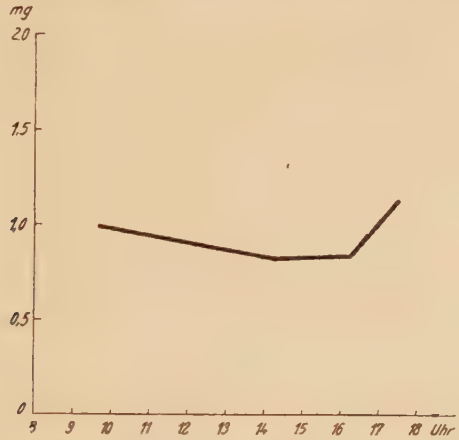

Fig. 12. Transpirationsverlauf von P. austriaca am 16. Juli.

vom 31. Juli bis 17. August die maximalen und minimalen Wasserverluste in der Zeit von 11 bis 16 Uhr zusammengestellt und daraus das Streuungsfeld der einzelnen Arten berechnet. Wie sich aus Tabelle 13 ergibt, sind die Differenzen zwischen den Maximal- und Minimalwerten relativ hoch und betragen stets mehr als 1 mg, bei P. austriaca sogar 1,76 mg. Diese großen Schwankungen zwischen den maximalen und minimalen Transpirationsraten treten auch in den andern Versuchsserien hervor.

Tabelle 13.

Die durchschnittlichen Transpirationsschwankungen in den untersuchten Arten vom 31. Juli bis 17. August.

Species	Transpirationsschwankungen in der Zeit zwischen 11 u. 16 Uhr		
	Maximalwerte in mg	Minimalwerte in mg	Streuungsfeld in mg
P. cembra	2,80	1,75	1,05
P. peuce	2,20	1,08	1,12
P. excelsa	2,40	1,20	1,20
P. silvestris	1,95	0,83	1,12
P. montana	2,20	0,86	1,34
P. austriaca	2,26	0,50	1,76
P. strobus	1,70	0,45	1,25

Die Gründe für die täglichen Schwankungen sind in den Außenbedingungen zu suchen. Wie dieselben sich aber im einzelnen auswirken, läßt sich auf Grund dieser Untersuchungen nur schwer darlegen. Durch das In- und Gegeneinanderwirken dieser Faktoren ist es sehr schwierig, dieselben näher zu analysieren, so daß nur spezielle Untersuchungen darüber weiteren Aufschluß bringen können.

Die jahreszeitlichen Schwankungen in der Transpiration.

Die Wasserabgabe der Pflanzen ist eng an die Jahreszeiten geknüpft, so daß die Transpirationsgrößen erheblichen jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen sind. Besonders stark werden dieselben hervortreten beim Übergang vom Herbst zum Winter und vom Winter zum Frühjahr.

Auch in der Gattung Pinus wurde diese Frage behandelt. So verfolgte Kusano [1901] an P. Thunbergii die Wasserabgabe von Dezember bis März in Japan. Aus den Versuchen ergab sich, daß sich die Wasserabgabe bis Januar verminderte und die kleinste Rate erreichte. In den folgenden Monaten erfuhr sie eine allmähliche Steigerung, und Ende März betrug die durchschnittliche tägliche Transpiration bereits 16,5 g auf 100 g Frischgewicht gegenüber 4,8 g Ende Januar (s. o. Tabelle 6).

Von April bis November beobachtete Bates [1923] die Transpiration von P. scopulorum, P. contorta, P. flexilis und P. aristata. Die monatlichen Wasserverluste zeigen im Juni die höchsten Werte, die sich im Juli vermindern, im August aber wieder anwachsen ohne jedoch die Juniwerte zu erreichen. Von September an tritt eine allmähliche Verringerung der Transpirationsverluste ein.

Eingehende Untersuchungen über den jahreszeitlichen Verlauf der Wasserabgabe bei verschiedenen Pinusarten wurden von Weaver und Mogensen [1919] angestellt. Sie verwendeten zu ihren Versuchen P. ponderosa, P. Banksiana und P. Murrayana. Die Transpiration wurde von September bis Mai festgestellt, bei P. Murrayana dagegen nur bis Februar. Es zeigte sich ein starker Abfall der Wasserabgabe von September bis Ende Oktober. Von dem Zeitpunkt an sinkt die Transpirationsgröße nur wenig (s. o. Fig. 3). Eine langsame Erhöhung der Wasserabgabe tritt im Februar bis März auf, die sich mit fortschreitendem Frühjahr steigert, wie dies für P. ponderosa aus Tabelle 14 hervorgeht. Die Transpirationsgrößen stehen in enger Beziehung zur Temperatur während der Versuchsmonate, wie dort ausgeführt wurde.

Tabelle 14.

Gesamte Transpirationsverluste in g von P. ponderosa vom 1. Januar bis 2. Mai 1918 nach Weaver und Mogensen.

Pflanze	1. Januar bis 7. Februar (37 Tage)	7. Februar bis 13. März (34 Tage)	13.—26. März (13 Tage)	26. März bis 29. April (34 Tage)	26. März bis 2. Mai (37 Tage)
1	2,0	13,7	8,8	7,3	—
2	0,5	—	12,2	16,5	—
3	2,5	9,5	11,0	13,5	—
4	1,5	8,0	14,5	—	69,0
5	1,5	7,9	16,1	—	70,0
6	0,5	10,2	13,8	—	26,0
7	0,5	4,5	—	—	—
8	0,5	13,1	23,9	—	91,4

Beim Vergleich mit laubabwerfenden Bäumen zeigte sich kaum eine höhere Wasserabgabe der Pinusarten im Winter, was mit dem winterlichen Spaltöffnungsschluß und mit den chemischen Differenzen im Zellinhalt in Verbindung gebracht wird.

Winterliche Transpirationsuntersuchungen stellte weiter Gordiagin [1916] an P. cembra und P. silvestris an. Die Wasserabgabe wurde an einjährigen abgeschnittenen Trieben ermittelt. Die Resultate einer Versuchsserie vom 9. bis 15. Februar 1903 sind in Tabelle 15 wiedergegeben.

Tabelle 15.

Winterliche Transpirationsverluste von P. cembra und P. silvestris nach Gordiagin.

einjährige Triebe	deren Anfangsgewicht im mg	Gesamtverluste in mg	Gesamtverluste in %	Transpirationsverlust in 24 Std. auf 100 qcm Oberfläche
P. cembra	5 031	115	2,3	8 mg
P. silvestris a	13 387	294	2,2	10 mg
P. silvestris b	9 207	257	2,8	12 mg

Diese niederen winterlichen Transpirationsverluste sind durch Untersuchungen an P. cembra und P. silvestris von Iwanoff [1924] bestätigt worden. Wenn die Transpiration der Lärchentriebe = 1 angenommen wird, so beträgt die Wasserabgabe von P. cembra 0,9 und P. silvestris 0,6 bei Berechnung auf 1 qcm Nadeloberfläche.

Weitere Untersuchungen führte er an P. silvestris in den kältesten Monaten Januar und Februar aus. Werden die täglichen Gewichtsverluste auf Frischgewicht der Nadeln umgerechnet, so beträgt die Wasserabgabe etwa 0,75% des Nadelfrischgewichtes. Man kann demnach einen mittleren Transpirationsverlust von 1% annehmen. Der Vergleich mit der Wasserabgabe im Sommer ergibt, daß die Transpiration im Winter ungefähr den 300. bis 400. Teil beträgt. Zu dem-

selben Ergebnis kamen Weaver und Mogensen [1919], die die herbstlichen Transpirationsverluste mit denen des Winters verglichen. Letztere betragen ungefähr 1/251 der ersteren.

Wie sich aus den vorliegenden Untersuchungen ergibt, erfahren die Kiefern im Winter eine weitgehende Transpirationseinschränkung gegenüber der herbstlichen Wasserabgabe.

Transpirationsdifferenzen der verschiedenen untersuchten Arten.

Die Hauptuntersuchungen galten dem Vergleich der Transpirationsraten verschiedener Arten. Dies geschah zunächst an Bäumen im botanischen Garten. Um einwandfreie Ergebnisse zu erhalten, mußten diese Versuche an andern Exemplaren und an andern Standorten wiederholt werden. Erst auf Grund dieser weiteren Ver-

Fig. 13. DurchschnittlicheTranspirationsverluste vom 10.—31. Mai.

suche können endgültige Schlüsse bezüglich der durchschnittlichen Wasserabgabe in den verschiedenen Species gezogen werden.

a) Versuche im botanischen Garten.

Die Untersuchungen erstreckten sich auf die Monate Mai, Juni, Juli und August. Die erste mehr orientierende Versuchsserie galt zunächst der Frage, ob Unterschiede in der Transpiration bei den einzelnen Arten überhaupt vorhanden sind. An jedem Tag wurde eine Art untersucht. Deutliche Unterschiede ließen sich noch nicht erkennen. Es ergab sich nur so viel, daß P. peuce, P. excelsa und P. cembra den übrigen Arten gegenüber in der Zeit von 11—15 Uhr die stärkste Wasserabgabe zeigten, während die letzteren noch keine spezifischen Unterschiede in derselben erkennen ließen (Fig. 13).

Fig. 14. Durchschnittliche Transpirationsverluste vom 12.—20. Juni.

Deutlichere Unterschiede traten in der zweiten Versuchsserie vom 12. Juni bis 20. Juni auf. An jedem Tag kamen zwei Species zur Untersuchung.

Die höchsten durchschnittlichen Transpirationsverluste findet man bei P. excelsa, P. peuce und P. cembra mit 3,6 mg bzw. 2,8 mg bzw. 2,56 mg auf 1 g Frischgewicht pro Minute.

Eine weit geringere Wasserabgabe zeigten die beiden Arten P. montana und P. silvestris mit Maximalwerten von 1,82 mg bzw. 1,7 mg. P. austriaca liegt mit der höchsten Transpiration von 2,06 mg zwischen P. cembra und P. montana.

Von allen Arten weist P. strobus die geringste Transpiration auf. Die höchste Wasserabgabe erreichte dieselbe mit 1,24 mg (Fig. 14).

Fig. 15. Durchschnittliche Transpirationsverluste vom 10.—19. Juli.

Die folgenden Untersuchungen vom 10. bis 19. Juli wurden ganz übereinstimmend durchgeführt.

Das Spezifische für P. excelsa, P. peuce und P. cembra gilt auch hier.

P. austriaca, P. silvestris und P. montana zeigen eine mittlere Wasserabgabe, während P. strobus wieder die niedersten Werte aufweist (Fig. 15).

Diese Versuchsergebnisse in den Monaten Mai, Juni und Juli lassen erkennen, daß

1. P. excelsa, P. cembra und P. peuce die Arten mit stärkster,
2. P. montana, P. silvestris und P. austriaca die mit mittlerer, und
3. P. strobus die mit niederster Wasserabgabe

sind. Diese Versuche waren aber für eine eindeutige klare Herausstellung der Typen noch nicht genügend. Besonders bedurften die Arten P. silvestris, P. montana und P. austriaca noch einer genaueren Untersuchung.

Von Ende Juli bis Mitte August wurden nochmals Versuche an denselben Exemplaren durchgeführt. In dieser Versuchsserie kamen täglich vier Arten zur Untersuchung und zwar vom 31. Juli bis 8. August P. peuce, P. silvestris, P. austriaca und P. strobus und vom 14. bis 17. August P. excelsa, P. cembra und P. montana. Als Vergleichsform war in der letzten Versuchsserie P. strobus eingeschlossen. Durch diese Versuchsanordnung konnten an einem Versuchstag mehr Daten für mehrere Arten gewonnen und aus diesem Grunde ein exakterer Vergleich durchgeführt werden. In durchschnittlich 2 Stunden waren die vier Arten auf ihre Wasserabgabe untersucht. Die Versuche fielen in eine ausgesprochene Schönwetterperiode. Nur der 17. August zeigte den ganzen Tag über bewölkten Himmel.

Auf Grund dieser Untersuchungen stellen sich deutlich drei Transpirationstypen heraus:

1. P. cembra, P. peuce und P. excelsa,
2. P. silvestris und P. montana,
3. P. austriaca und P. strobus.

In der folgenden Tabelle 16 sind sämtliche Einzelmessungen wiedergegeben.

Tabelle 16.

Die einzelnen Transpirationsraten in der Zeit vom 31. Juli bis 17. August.

Art	Tag	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Transpr. in mg pro g Frischgew. pro Minute
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. peuce	31. 7.	9.27	14,8	12,2	2,6	1,60
	1. 8.	9.10	17,6	13,2	4,4	1,82
	2. 8.	8.37	14,7	11,9	2,8	1,25
		10.18	14,2	11,1	3,1	0,96
	3. 8.	8.43	11,7	10,6	1,1	0,86
	6. 8.	9.16	13,2	11,9	1,3	1,49
		10.55	16,1	13,1	3,0	1,23
	7. 8.	9.18	14,2	12,4	1,8	1,79
	8. 8.	9.42	17,5	14,7	2,8	1,48
	13. 8.	8.29	13,8	12,7	1,1	1,00

Art	Tag	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Transpr. in mg pro g Frischgew. pro Minute
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
P peuce.	31. 7.	11.55	17,1	13,5	3,6	2,19
		14.40	17,0	13,2	3,8	1,57
	1. 8.	11.03	17,8	13,4	4,4	1,72
	2. 8.	14.31	16,7	12,1	4,6	1,54
	3. 8.	15,00	17,2	13,2	4,0	1,46
	6. 8.	14.04	19,5	14,3	5,2	1,46
	7. 8.	11.16	18,6	13,6	5,0	1,46
		15.25	22,3	16,2	6,1	1,95
	8. 8.	11.25	19,3	15,2	4,1	2,20
		15.14	18,7	15,6	3,1	2,02
	13. 8.	13.36	18,6	14,9	3,7	1,08
		abends (16 bis 19 Uhr)				
	31. 7.	17,30	15,5	12,2	3,3	0,35
	1. 8.	—	—	—	—	—
	2. 8.	—	—	—	—	—
	3. 8.	16.55	17,7	12,9	4,8	1,38
		18.49	15,2	12,6	2,6	1,52
	6. 8.	11.11	19,2	13,6	5,6	2,10
		17.26	17,6	13,4	4,2	1,56
	7. 8.	16.37	21,7	16,1	5,6	2,30
		18.13	18,4	15,7	2,7	1,36
	8. 8.	—	—	—	—	—
	13. 8.	16.03	19,5	15,2	4,3	2,34
		17.38	18,0	15,2	2,8	1,60
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. silvestris	31. 7.	8.16	14,2	12,2	2,0	1,30
	1. 8.	8.00	16,2	13,9	2,3	1,20
		10.05	17,3	13,8	3,5	1,27
	2. 8.	9.38	—	—	—	1,56
	3. 8.	10.40	15,0	11,7	3,3	0,93
	6. 8.	10.05	16,0	13,4	2,6	1,64
	7. 8.	9.53	16,6	13,8	2,8	1,53
	8. 8.	9.30	17,7	14,7	3,0	1,26
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
	31. 7.	11.00	15,9	12,9	3,0	1,68
		14.00	16,9	13,1	3,8	1,43
	1. 8.	—	—	—	—	—

Art	Tag	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Transpr. in mg pro g Frischgew. pro Minute
P. silvestris	2. 8.	11.39	16,1	11,9	4,2	1,37
		15.25	16,3	12,3	4,0	0,83
	3. 8.	—	—	—	—	—
	6. 8.	11.48	18,1	13,5	4,6	1,78
		15.40	19,2	13,6	5,6	1,62
	7. 8.	11.41	19,6	14,0	5,6	1,02
		15.06	22,3	15,4	6,9	1,52
	8. 8.	11.18	—	—	—	1,80
		14.53	18,7	15,7	3,0	1,95
		abends (16 bis 19 Uhr)				
	31. 7.	16.14	16,5	12,9	3,6	1,20
		18.84	15,2	13,4	1,8	0,41
	1. 8.	—	—	—	—	—
	2. 8.	—	—	—	—	—
	3. 8.	16.00	17,9	13,2	4,7	0,68
		17.49	17,1	12,9	4,2	0,70
	6. 8.	16.52	18,7	13,4	5,3	1,28
		18.32	15,7	14,0	1,7	1,47
	7. 8.	16.22	21,9	16,3	5,6	1,52
		17.52	19,6	15,9	3,7	1,12
	8. 8.	16.32	16,0	14,2	1,8	0,60
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. austriaca	31. 7.	10.08	15,6	12,7	2,9	1,25
	1. 8.	9.27	17,0	13,2	3,8	1,03
	2. 8.	9.08	14,7	11,6	3,1	0,94
	3. 8.	9.54	13,5	11,1	2,4	0,65
	6. 8.	9.42	14,0	12,0	2,0	0,74
	7. 8.	8.05	12,0	11,2	0,8	0,60
		10.11	17,6	14,5	3,1	0,74
	8. 8.	10.20	18,3	15,1	3,2	0,82
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
	31. 7.	12.15	17,4	13,3	4,1	2,26
		15.02	17,2	13,5	3,7	1,54
	1. 8.	11.30	18,2	13,9	4,3	1,29
	2. 8.	11.01	16,1	11,8	4,3	0,66
		14.58	16,9	12,6	4,3	0,95
	3. 8.	15.32	18,4	13,0	5,4	0,50
	6. 8.	11.18	15,9	12,8	3,1	0,70
		14.25	19,6	14,3	5,3	1,24

Art	Tag	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Transpr. in mg pro g Frischgew. pro Minute
P. austriaca	7. 8.	14.31	22,2	15,8	6,4	0,96
		15.43	22,4	16,6	5,8	0,90
	8. 8.	11.56	19,2	15,4	3,8	1,18
		15.44	17,6	15,0	2,6	0,74
		abends (16 bis 19 Uhr)				
	31. 7.	18.15	15,6	13,5	2,1	0,23
	1. 8.	—	—	—	—	—
	2. 8.	—	—	—	—	—
	3. 8.	17.15	17,6	12,9	4,7	0,36
	6. 8.	16.28	19,2	13,9	5,3	1,12
		17.52	17,7	13,6	4,1	0,42
	7. 8.	17.02	21,1	15,9	5,2	0,63
	8. 8.		—	—	—	—
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. strobus	31. 7.	8.45	14,5	12,6	1,9	0,88
	1. 8.	8.32	16,6	13,6	3,0	0,98
		10.29	18,1	13,7	4,4	0,80
	2. 8.	8.03	14,6	12,1	2,5	0,83
		9.58	16,7	12,2	4,5	1,12
	3. 8.	7.49	9,4	9,0	0,4	0,38
	6. 8.	10.25	14,9	12,8	2,1	1,00
	7. 8.	8.34	12,9	11,5	1,4	0,76
		10.50	18,5	14,1	4,4	0,79
	8. 8.	8.28	15,2	13,7	1,5	0,65
		10.45	18,8	15,3	3,5	1,25
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
	31. 7.	11.24	15,9	12,9	3,0	0,80
		14.09	17,4	13,4	4,0	0,96
	1. 8.		—	—	—	—
	2. 8.	13.48	17,9	12,7	5,2	1,10
	3. 8.	14.08	18,3	13,4	4,9	0,45
	6. 8.	12.02	18,1	13,5	4,6	0,98
		15.53	19,1	13,4	5,7	1,46
	7. 8.	14.50	22,2	15,6	6,6	1,48
	8. 8.	14.16	19,6	15,8	3,8	0,84
		abends (16 bis 19 Uhr)				
	31. 7.	16.39	16,1	12,9	3,2	0,59
		19.06	14,7	13,2	1,5	0,16
	1. 8.		—		—	—
	2. 8.				—	—

Art	Tag	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych - diff.	Transpr. in mg pro g Frischgew. pro Minute
P. strobus	3. 8.	16.30	17,7	13,2	4,5	0,77
		18.23	16,0	12,9	3,1	0,32
	6. 8.	17.09	18,4	13,7	4,7	0,66
		18.53	14,9	13,9	1,0	0,38
	7. 8.	16.02	22,1	16,3	5,8	1,88
		17.28	20,4	16,1	4,3	0,70
	8. 8.	16.03	16,5	14,0	2,5	0,54
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. cembra	14. 8.	8.12	12,1	11,5	0,6	0,51
	15. 8.	8.15	14,3	12,7	1,6	0,65
	16. 8.	7.55	13,7	12,5	1,2	0,50
	17. 8.	8.14	17,7	14,4	3,3	1,03
		10.40	18,2	15,0	3,2	1,34
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
	14. 8.	11.40	19,2	14,7	4,5	1,98
		14.53	21,1	15,7	5,4	2,04
	15. 8.	11.08	20,0	15,6	4,4	2,22
		14.30	21,6	17,0	4,6	2,15
	16. 8.	11.12	19,1	14,9	4,2	1,75
		14.35	22,7	16,2	6,5	2,80
	17. 8.	—	—	—	—	—
		abends (16 bis 19 Uhr)				
	14. 8.	16.38	21,0	16,0	5,0	1,50
		18.25	17,5	16,4	1,1	0,72
	15. 8.	—	—	—	—	—
	16. 8.	16.24	22,2	16,9	5,3	1,32
		17.43	20,0	17,2	2,8	0,70
	17. 8.	16.24	—	—	—	1,45
		17.48	18,0	14,7	3,3	1,00
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. excelsa	14. 8.	8.52	14,0	13,0	1,0	0,98
	15. 8.	9.14	16,4	14,3	2,1	0,86
	16. 8.	8.43	15,5	13,8	1,7	0,85
	17. 8.	8.40	—	—	—	1,30
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
	14. 8.	13.53	22,2	16,4	5,8	2,40
		14.18	21,8	16,2	5,6	1,84
	15. 8.	11.50	21,0	16,2	4,8	2,12
		15.02	20,5	16,5	4,0	1,26

Art	Tag	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Transpr. in mg pro g Frischgew. pro Minute
P. excelsa	16. 8.	11.43	19,9	14,6	5,3	1,60
		14.51	22,5	15,9	6,6	2,20
	17. 8.	11.12	18,5	15,2	3,3	1,60
		abends (16 bis 19 Uhr)				
	14. 8.	17.02	18,9	16,0	2,9	1,25
		18.50	16,5	15,7	0,8	0,58
	15. 8.	—	—	—	—	—
	16. 8.	16.43	22,1	16,7	5,4	1,14
		18.10	19,5	17,1	2,4	1,13
	17. 8.	16.53	18,9	14,7	4,2	2,40
		18.06	16,9	14,8	2,1	1,04
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. montana	14. 8.	10.36	17,7	14,2	3,5	1,80
	15. 8.	10.00	17,4	14,6	2,8	0,90
	16. 8.	10.13	18,0	14,9	3,1	1,34
	17. 8.	9.45	18,1	14,4	3,7	1,30
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
	14. 8.	14.20	22,1	15,9	6,2	2,15
		15.58	21,7	16,1	5,6	2,20
	15. 8.	13.48	23,1	16,9	6,2	1,70
		15.30	19,9	16,5	3,4	0,86
	16. 8.	13.50	22,5	15,5	7,0	0,90
		15.24	22,4	15,7	6,7	1,55
	17. 8.	13.40	18,2	14,7	3,5	1,25
		abends (16 bis 19 Uhr)				
	14. 8.	17.30	19,0	16,5	2,5	0,90
	15. 8.	—	—	—	—	—
	16. 8.	17.08	21,5	16,9	4,6	0,58
		18.30	18,4	16,6	1,8	0,28
	17. 8.	17.57	18,8	14,7	4,1	1,35
		18.30	16,3	14,4	1,9	0,46
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. strobus	14. 8.	11.24	18,7	15,0	3,7	0,80
	15. 8.	10.52	19,1	15,2	3,9	0,68
	16. 8.	10.50	18,6	14,6	4,0	1,02
	17. 8.	10.20	18,6	14,9	3,7	0,68

Art	Tag	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Transpr. in mg pro g Frischgew. pro Minute
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
P. strobus	14. 8.	14.38	20,5	15,1	5,4	1,08
	15. 8.	14.08	23,2	16,3	6,9	1,70
	16. 8.	14.13	22,5	15,7	6,8	1,22
		15.56	22,4	16,2	6,2	1,08
	17. 8.	15.58	—	—	—	0,64
		abends (16 bis 19 Uhr)				
	14. 8.	16.16	21,4	16,2	5,2	0,93
		18.00	17,7	16,6	1,1	0,50
	15. 8.	—	—	—	—	—
	16. 8.	17.25	20,3	17,0	3,3	0,78
		18.58	—	—	—	0,22
	17. 8.	17.38	18,4	14,7	3,7	0,79

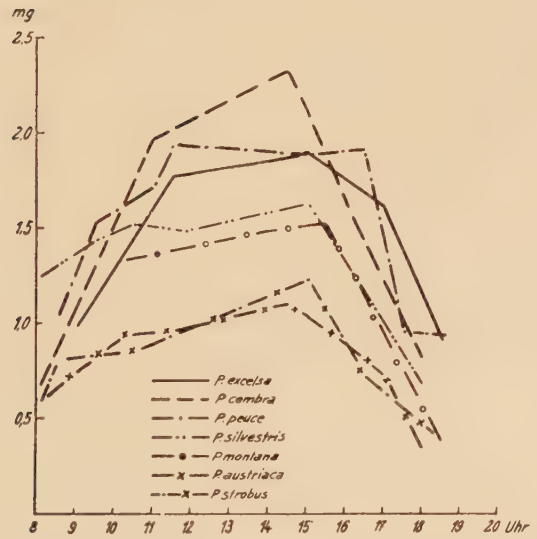

Fig. 16. Durchschnittliche Transpirationsverluste vom 31. Juli bis 17. August.

Wie aus Fig. 16 ersichtlich ist, haben P. peuce, P. cembra und P. excelsa um die Mittagszeit wieder die höchsten Werte aller untersuchten Arten. Die maximalen Durchschnittsverluste sind für P. cembra 2,32 mg, für P. peuce 1,95 mg und für P. excelsa 1,90 mg pro Minute auf 1 g Frischgewicht.

P. silvestris und P. montana, als die Species mit mittlerer Wasserabgabe, zeigen nur geringe Unterschiede. Ihre durchschnittlichen Höchstwerte betragen 1,6 mg bzw. 1,5 mg.

Die letzte Gruppe P. austriaca und P. strobus weist die niedersten Transpirationswerte auf. Die Maximalverluste betragen im Durchschnitt 1,10 mg und 1,24 mg.

Daß P. austriaca in den vorhergehenden Versuchsserien etwas höher liegt, hat seinen Grund darin, daß gegenüber den andern Arten

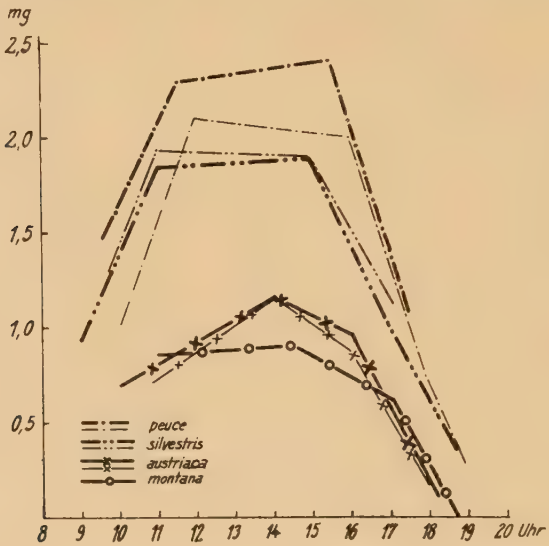

Fig. 17. Durchschnittliche Transpirationsverluste vom 21.—27. August.

weniger Einzeluntersuchungen zur Berechnung der Durchschnittswerte vorlagen.

Die Feststellung der Transpirationsunterschiede geschah zunächst auf Grund von Untersuchungen jeweils der gleichen Individuen. Es war nun von Wichtigkeit festzustellen, ob diese Ergebnisse sich auch aus Versuchen an anderen Exemplaren ergeben werden. Aus diesem Grunde wurden vom 21. bis 27. August die folgenden Untersuchungen angestellt und zwar an

je zwei weiteren Exemplaren von P. peuce (1) und (2), P. silvestris (1) und (2), P. austriaca (1) und (2), und
einem weiteren Exemplar von P. montana.

Die Expositionsverhältnisse stimmen mit denen der zuerst untersuchten Bäume überein. Die einzelnen Versuche wurden nur solange ausgedehnt als die Anzahl der Transpirationsintervalle zu einer siche-

ren Festlegung der Transpirationsrate notwendig war. Durch eine solche verkürzte Versuchsanordnung war es möglich in durchschnittlich 2 Stunden sämtliche sieben Exemplare auf ihre Wasserabgabe zu untersuchen.

Die aus den einzelnen Transpirationsdaten berechneten Durchschnittskurven (Fig. 17) lassen mit den bereits herausgestellten Transpirationstypen eine gute Übereinstimmung in ihrem gegenseitigen Verhalten erkennen. P. peuce ist wieder die am stärksten transpirierende Art, der P. silvestris mit mittlerer Wasserabgabe und P. austriaca mit niederster folgt. Daß P. montana hier aus dem Rahmen herausfällt, ist zweifellos auf den ungünstigen Zustand des Baumes (kurze gelbliche Nadeln, kurze Jahrestriebe) zurückzuführen. Auf die verschieden hohen Transpirationsdaten der beiden Exemplare von P. peuce (1) und (2) ist in dem Abschnitt über Bodenfeuchtigkeit des näheren eingegangen worden.

Vergleicht man die durchschnittlichen Höchstwerte mit den vom 31. Juli bis 17. August aufgestellten (Tabelle 17), so zeigen dieselben mehr oder weniger große Differenzen. Am auffallendsten kommt dies bei P. montana aus dem oben erwähnten Grunde zum Ausdruck. P. peuce wie auch P. silvestris zeigen höhere Maximalwerte in dieser Versuchsreihe. Die beste Übereinstimmung ergibt P. austriaca. Trotz dieser Differenzen bleibt aber die Reihenfolge der Species mit Ausnahme von P. montana bestehen.

Tabelle 17.

Durchschnittliche maximale Transpirationswerte in der Zeit vom 31. Juli bis 17. August und vom 21. August bis 27. August.

Art	Durchschnittl. maximale Transpirationswerte in mg pro g Frischgewicht pro Minute		
	31. Juli bis 17. Aug.	21.—27. August	
P. peuce	1,95	2,40 (1)	2,10 (2)
P. silvestris	1,63	1,88 (1)	1,92 (2)
P. montana	1,52	0,90	
P. austriaca	1,10	1,16 (1)	1,16 (2)

b) Versuche am Schloßberg und in Gärten Tübingens.

Zur weiteren Erhärtung der im botanischen Garten erhaltenen Resultate wurden die Untersuchungen auch auf andere Standorte ausgedehnt. Am Nordabhang des Schloßberges fand ich eine Kiefern-gruppe, bestehend aus P. excelsa, P. silvestris, P. austriaca und P. strobus. Zu Transpirationsbestimmungen wurden solche Exemplare herangezogen, die von nebenstehenden Bäumen nicht beeinflußt waren. Eine Ausnahme machte P. excelsa. Als einziges Exemplar

stand dieselbe dicht gedrängt an einer hohen Mauer und wurde außerdem von einer nebenstehenden P. austriaca überschattet. Von P. strobus kamen vier zur Untersuchung, von den übrigen Kiefern je eine. Die Messungen wurden solange ausgedehnt, bis die Transpirationsrate eindeutig festgelegt werden konnte.

Es ergab sich auch aus diesen Versuchen, wie Tabelle 18 erweist, daß die bereits herausgestellten Transpirationsunterschiede in den einzelnen Arten zu Recht bestehen. P. silvestris wie P. austriaca und P. strobus stimmen in der Reihenfolge hinsichtlich der Transpirationsintensität mit den im botanischen Garten erhaltenen Resultate überein. Nur P. excelsa fällt außerhalb der Reihe. Der Grund hiefür liegt in den bereits angeführten Standortsbedingungen.

Tabelle 18.

Transpirationsverluste der untersuchten Kiefern am Schloßberg.

Art	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Transpr. in mg pro g Frischgew. pro Minute
P. excelsa . .	11.58	17,5	11,7	5,8	1,14
P. silvestris . .	13.13	19,7	12,6	7,1	1,35
	13.24	19,6	12,7	6,9	1,57
	13.34	19,4	12,3	7,1	1,52
	14.44*)	19,2	14,0	5,2	1,31
P. austriaca . .	11.45	17,0	11,7	5,3	0,60
P. strobus . .	10.45**)	15,0	10,3	4,7	0,66
	11.00**)	15,4	10,7	4,7	0,70
	11.15	15,7	10,9	4,8	0,61
	11.29	16,6	11,3	5,3	0,78
	12.42	18,3	12,0	6,3	0,93
	15.10*)	19,0	12,3	6,7	0,66

Weitere Untersuchungen wurden an P. cembra und P. strobus in Gärten Tübingens ausgeführt. Wie bereits in dem Abschnitt über Bodenfeuchtigkeit dargelegt worden ist, zeigte die Transpiration ganz abnormale Verhältnisse. Die Wasserabgabe wurde auf ein Minimum eingeschränkt; dennoch zeigte auch in diesen Versuchen P. cembra eine höhere Transpiration als P. strobus (Tabelle 3, s. o.).

c) Versuche im Forstgarten bei Lustnau.

Die Untersuchungen im Forstgarten beschränkten sich ausschließlich auf P. silvestris und P. strobus. Von P. silvestris wählte ich vier Exemplare, die an der Ostseite einer Parzelle standen, und ein anderes, das sich inmitten dieser befand. P. strobus stand frei und hatte von morgens bis abends Sonne. Die reihenweise Anordnung der

*) Kontrollversuch im botanischen Garten.
**) Dasselbe Exemplar.

P. silvestris hatte zur Folge, daß dieselben nicht zu gleicher Zeit besonnt und nicht zu gleicher Zeit beschattet wurden. Mit dem Höhersteigen der Sonne setzte die Beschattung an dem einen Flügel, den das Sonnenlicht bälder traf, früher ein als am andern.

Die P. silvestris-Exemplare waren nach den forstlichen Aufzeichnungen etwa dreißigjährig, P. strobus ungefähr fünfzehnjährig.

Die Messungen begannen, sobald der Tau verschwunden war.

Aus den einzelnen Transpirationsdaten der Tabelle 19 ersieht man, daß die Wasserabgabe von P. silvestris besonders um die Mittagszeit an den verschiedenen Versuchstagen großen Schwankungen unterworfen ist. Wenn am 30. August noch durchgehend in den Mittagsstunden relativ die höchste Wasserabgabe festzustellen ist, so tritt in den folgenden Versuchstagen eine Verminderung derselben ein. Besonders nieder sind die Transpirationsdaten am 2. und 3. September. Der Grund hiefür wird bei der andauernd herrschenden Trockenheit in einem Mangel an Bodenfeuchtigkeit zu suchen sein.

Tabelle 19.

Die einzelnen Transpirationsraten in der Zeit vom 30. August bis 3. September.

Art	Tag	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Transpr in mg pro g Frischgew. pro Minute
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. silvestris (1)	30. 8.	8.52	15,7	14,0	1,7	0,80
		10.26	18,4	16,2	2,2	1,80
	31. 8.	8.25	13,6	13,0	0,6	0,72
		10.00	17,5	15,2	2,3	1,35
	1. 9.	8.30	14,6	14,1	0,5	0,66
		10.45	20,6	17,1	3,5	1,65
	2. 9.	8.24	14,5	13,7	1,8	0,98
		10.26	19,3	16,5	2,8	1,45
	3. 9.	8.30	14,3	13,6	0,7	0,90
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
	30. 8.	13.15	21,0	17,7	3,3	2,70
		14.30	21,8	17,2	4,6	1,30
	31. 8.	11.25	20,1	16,6	3,5	2,02
		14.04	22,4	16,9	5,5	1,60
	1. 9.	13.32	23,7	17,5	6,2	1,20
		14,50	24,9	17,4	7,7	1,20
	2. 9.	13.32	24,4	17,7	6,7	0,93
		14.56	24,6	16,9	7,7	0,96
	3. 9.	11.10	20,9	17,4	3,5	1,64
		13.35	—	—	—	1,30
		15.23	24,9	17,6	7,3	1,08

Art	Tag	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Transpr. in mg pro g Frischgew. pro Minute
		abends (16 bis 19 Uhr)				
P. silvestris (1)	30. 8.	16.00	22,3	17,2	5,1	1,04
		17.30	21,0	17,5	3,5	0,79
	31. 8.	—	—	—	—	—
	1. 9.	16.30	21,9	18,3	3,6	0,76
	2. 9.	16.15	25,0	17,6	7,4	1,10
	3. 9.	17.04	24,2	17,6	6,6	0,20
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. silvestris (2)	30. 8.	9.15	16,5	15,3	1,2	1,10
		10.56	18,7	15,8	2,9	0,78
	31. 8.	8.42	14,1	13,4	0,7	0,54
		10.20	18,2	15,6	2,6	0,90
	1. 9.	8.50	15,5	14,6	0,9	0,60
	2. 9.	8.50	15,2	14,2	1,0	0,63
	3. 9.	9.14	16,1	14,5	1,6	0,71
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
	30. 8.	13.00	21,5	17,2	4,3	1,34
		14.50	21,5	16,9	4,6	0,68
	31. 8.	11.52	21,2	17,2	4,0	1,20
		14.15	22,7	17,2	5,4	1,15
	1. 9.	11.05	21,5	17,2	4,2	1,10
		13.45	24,5	17,4	7,1	0,84
		15.10	24,7	16,7	8,0	0,40
	2. 9.	11.00	20,3	16,4	3,9	0,58
		13.56	24,3	17,2	7,1	0,60
		15.20	24,6	17,0	7,6	0,60
	3. 9.	11.36	21,7	17,5	4,2	0,95
		14.02	24,1	18,1	6,0	0,63
		15.48	24,5	17,7	6,8	0,32
		abends (16 bis 19 Uhr)				
	30. 8.	17.30	21,0	17,5	3,5	0,66
	31. 8.	—	—	—	—	—
	1. 9.	16.43	21,7	18,2	3,5	0,42
	2. 9.	16.30	25,1	18,6	6,5	0,50
	3. 9.	17.25	22,2	18,4	3,8	0,22
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. silvestris (3)	30. 8.	9.38	16,8	15,5	1,3	1,40
	31. 8.	9.06	15,0	13,9	1,1	1,66

Art	Tag	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Transpr. in mg pro g Frischgew. pro Minute
P. silvestris (3)	1. 9.	9.25	16,7	15,3	1,4	1,65
	2. 9.	9.20	16,4	15,0	1,4	1,54
	3. 9.	9.42	17,5	15,3	2,2	1,10
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
	30. 8.	11.20	19,1	15,9	3,2	2,35
		13.34	21,2	17,1	4,1	2,55
		15.02	21,6	16,8	4,8	1,04
	31. 8.	12.07	21,6	17,7	3,9	2,72
		14.15	22,7	17,2	5,5	1,15
	1. 9.	14.00	24,7	17,6	7,1	1,18
		15.30	24,7	17,6	7,1	0,46
	2. 9.	11.20	21,5	16,9	4,6	1,52
		14.02	24,5	17,3	7,2	0,42
		15.34	24,9	18,0	6,9	0,54
	3. 9.	11.50	22,7	17,8	4,9	1,15
		14.34	24,7	17,5	7,2	0,58
		abends (16 bis 19 Uhr)				
	30. 8.	17.45	20,6	17,1	3,5	0,38
	31. 8.	—	—	—	—	—
	1. 9.	17.02	—	—	—	0,60
	2. 9.	16.45	23,6	17,9	5,7	0,84
	3. 9.	16.17	24,5	17,3	7,2	0,25
		17.40	21,4	18,2	3,2	0,36
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. silvestris (4)	30. 8.	10.02	17,4	15,7	1,7	1,60
	31. 8.	9.24	16,1	14,8	1,3	0,94
		10.50	19,6	16,9	2,7	1,40
	1. 9.	9.50	18,1	16,1	2,0	0,76
	2. 9.	9.42	17,5	15,5	2,0	1,45
	3. 9.	10.20	19,9	16,4	2,7	1,45
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
	30. 8.	11.40	19,7	16,4	3,3	1,90
		13.50	21,1	16,9	4,2	0,90
		15.15	—	—	—	0,97
	31. 8.	13.34	22,2	17,4	4,8	0,80
		14.45	22,7	17,1	5,6	0,52

Art	Tag	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Transpr. in mg pro g Frischgew. pro Minute
P. silvestris (4)	1. 9.	12.00	23,0	17,5	5,5	1,35
		14.13	24,5	17,2	7,3	0,77
		15.56	23,5	17,8	5,7	0,41
	2. 9.	11.50	22,6	17,7	4,9	0,60
		14.20	—	—	—	0,38
		15.50	24,8	17,4	7,4	0,45
	3. 9.	12.14	23,4	18,5	4,9	0,51
		14.50	24,7	17,6	7,1	0,49
		abends (16 bis 19 Uhr)				
	30. 8.	18.00	19,6	16,7	2,9	0,28
	31. 8.	—	—	—	—	—
	1. 9.	17.40	22,7	18,2	4,5	0,62
	2. 9.	17.00	24,1	18,1	6,0	0,32
	3. 9.	16.30	—	—	—	0,17
		17.50	21,0	17,9	3,1	0,10
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. silvestris (5)	30. 8.	10.20	17,9	16,1	1,8	0,78
	31. 8.	9.50	16,1	15,0	1,1	0,51
	1. 9.	10.20	19,7	16,6	3,1	0,40
	2. 9.	10.13	18,6	16,1	2,5	0,32
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
	30. 8.	11.55	20,3	16,7	3,6	1,34
		14.00	21,9	16,9	5,0	0,50
		15.32	22,3	17,4	4,9	0,44
	31. 8.	11.10	19,7	16,6	3,1	0,90
		13.50	22,6	17,4	5,2	0,64
	1. 9.	12.17	22,2	17,2	5,0	0,96
		14.36	24,9	17,6	7,3	0,38
	2. 9.	12.00	23,2	18,4	4,8	0,92
		14.32	24,7	17,0	7,7	0,26
		abends (16 bis 19 Uhr)				
	30. 8.	18.10	19,6	16,6	3,0	0,13
	31. 8.	—	—	—	—	—
	1. 9.	16.10	22,0	17,7	4,3	0,13
		17.54	—	—	—	0,46
	2. 9.	16.14	25,0	17,6	7,4	0,26
		17.15	24,4	18,4	6,0	0,41

Art	Tag	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Transpr. in mg pro g Frischgew. pro Minute
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. strobus	3. 9.	10.50	20,1	16,9	3,2	0,86
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
	3. 9.	12.30	—	—	—	0,80
		15.04	25,4	17,6	8,8	0,80
		abends (16 bis 19 Uhr)				
	3. 9.	16.46	23,4	17,5	5,9	0,64
		18.00	20,2	17,4	2,8	0,49

Vergleicht man die Durchschnittskurven der einzelnen Exemplare (Fig. 18), so erkennt man, daß selbst innerhalb der Versuchsbäume hinsichtlich der Wasserabgabe große Verschiedenheiten auftreten. Besonders die Bäume (1) und (3) weisen eine hohe durchschnittliche

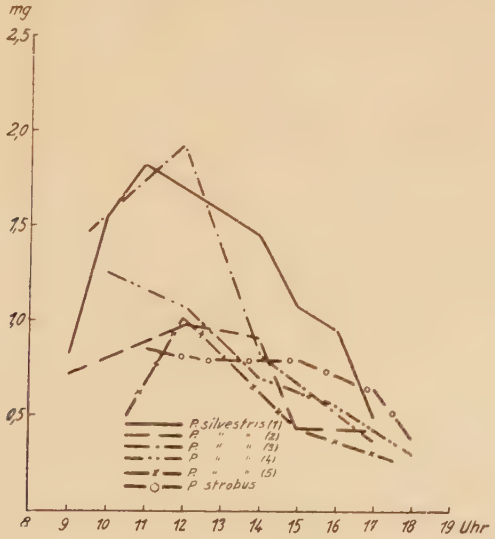

Fig. 18. Durchschnittliche Transpirationsverluste von P. silvestris und P. strobus im Forstgarten bei Lustnau.

Wasserabgabe auf im Vergleich zu den übrigen. P. silvestris (5), die inmitten des Bestandes sich befand, zeigt die geringste Transpiration. Durch eine ausgesprochen niedere Wasserabgabe ist wieder P. strobus ausgezeichnet, was hier besonders bemerkenswert ist, da diese Pflanze einen ganz freien Stand hatte.

Wenn man die im botanischen Garten erhaltenen durchschnittlichen Transpirationsraten von P. silvestris mit denen vom Forstgarten vergleicht, so ergibt sich, daß die Wasserabgabe im Forstgarten viel größere Schwankungen aufweist. Während im botanischen Garten die durchschnittlichen Maximalwerte für P. silvestris in den einzelnen Versuchsserien zwischen 1,5 mg und 1,9 mg liegen, schwanken die vom Forstgarten zwischen 0,98 mg und 1,94 mg. Dies ist zweifellos auf die abweichenden Standortsbedingungen zurückzuführen.

Die untersuchten P. silvestris-Exemplare gehörten alle einer Provenienz an. Es war nun von Interesse festzustellen, ob Unterschiede in verschiedenen Provenienzen sich ergeben, wozu die Anpflanzung verschiedener Provenienzen im Versuchsgarten besondere Gelegenheit bot. Zu diesem Zweck wurden Transpirationsuntersuchungen an einer russischen und an einer belgischen Provenienz angestellt. Beide Exemplare standen nebeneinander und waren etwa dreißigjährig. Äußerlich unterscheiden sich die Bäume dadurch, daß die Nadeln der russischen Kiefer von der Achse abstehen, während die der belgischen der Achse eng anliegen.

Tabelle 20.

Transpirationsverluste einer russischen und einer belgischen P. silvestris.

russische Kiefer					belgische Kiefer				
Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Transpr. in mg pro g Frischgew. pro Min.	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Trspr. i. mg pro g Frischgew. pr. Min.
11.29	11,3	10,2	1,1	1,57	11.43	10,8	9,8	1,0	1,20
11.56	12,7	10,4	2,3	2,11	12.05	12,8	10,7	2,1	1,68
12.15	12,7	10,7	2,0	2,14	12.28	13,1	10,9	2,2	1,59

Wie aus Tabelle 20 ersichtlich ist, ergeben sich deutliche Unterschiede in den Transpirationsraten. Die russische Kiefer zeigt stets eine höhere Wasserabgabe als die belgische. Diese Differenzen hängen wohl zum Teil mit der verschiedenen Anordnung der Nadeln zusammen. Da diese bei der belgischen Kiefer eng aneinander liegen, bedingen sie einen gegenseitigen Schutz, wodurch die Wasserabgabe der Nadeln bei voller Insolation beträchtlich eingeschränkt wird. Bates [1923] konnte ganz Entsprechendes an P. flexilis und P. aristata beobachten. Die geringen Transpirationsverluste führt er sowohl auf das enge Anliegen der Nadeln wie auf Verminderung der Anzahl und Größe der Stomata zurück.

Auf Grund dieser vergleichenden Untersuchungen zeigte sich also in allen Fällen dieselbe Reihenfolge der untersuchten Arten. Im einzelnen variierten aber die durchschnittlichen Transpirationsverluste,

was durch Standorts- und andere Einflüsse bedingt ist. Stellen wir die Gruppen nochmals heraus, so ergibt sich, daß

1. P. cembra, P. peuce und P. excelsa die Arten mit stärkster,
2. P. silvestris und P. montana die mit mittlerer, und
3. P. strobus und P. austriaca die mit niederster Wasserabgabe

darstellen.

Vergleichung der Ergebnisse mit anderen Untersuchungen.

Soweit in der Literatur Untersuchungen an den von mir untersuchten Arten vorliegen, finden letztere hinsichtlich der Reihenfolge Bestätigung.

Höhnel [1881] bestimmte den Wasserverlust von P. silvestris und P. Laricio. Es ergab sich, daß P. silvestris in den Sommermonaten stets eine höhere Transpiration zeigt als P. Laricio. Wie aus Tabelle 21 zu ersehen ist, betragen die Transpirationsverluste von P. silvestris im Durchschnitt etwas mehr als das Doppelte der von P. Laricio.

Tabelle 21.

Transpirationsverluste von P. silvestris und P. Laricio nach Höhnel.

Arten	Transpirationsgrößen auf 100 g Lufttrockengewicht der Nadeln bezogen, in den Monaten			
	Juni	Juli	August	September
P. silvestris	2 350	1 305	1 200	737
P. Laricio	1 063	852	692	233

Huber [1928] führte Transpirationsmessungen an P. cembra, P. montana und P. austriaca aus. Seine Ergebnisse resultieren aus verhältnismäßig wenig Versuchen, die um die Mittagszeit ausgeführt wurden. P. cembra ist die Art mit der höchsten Wasserabgabe, auf die P. montana und P. austriaca folgen. In Tabelle 22 wurden in der zweiten Spalte die von mir für die betreffenden Species erhaltenen Transpirationsverluste auf eine Stunde umgerechnet. Der Vergleich hinsichtlich der Reihenfolge ergibt eine klare Übereinstimmung mit den von Huber aufgestellten Transpirationsraten.

Tabelle 22.

Durchschnittliche Transpirationsverluste von P. cembra, P. montana und P. austriaca.

Arten	Transpirationsverluste in mg auf 1 g Frischgewicht pro Stunde	
	nach Huber	
P. cembra	110	139,2
P. montana	59 (17—101)*)	90
P. austriaca	41 (21—93)	66

*) Die in Klammer stehenden Werte bedeuten Schwankungen in der Wasserabgabe.

Transpirationsdifferenzen bei andern Arten.

Nachdem sich in den vorliegenden vergleichenden Transpirationsuntersuchungen deutliche Unterschiede herausbildeten, war es von Interesse, die Untersuchungen über andere Species zu verfolgen. Da sind es vor allem amerikanische Autoren, die eingehende Versuche mit Kiefern anstellten.

Weaver und Mogensen [1919] bestimmten für P. ponderosa und P. Banksiana in der Zeit von Ende September bis Anfang Oktober die Transpiration. Als durchschnittlichen täglichen Transpirationsverlust pro qdm Nadeloberfläche ergab sich für P. Banksiana 4,80 g, für P. ponderosa 4,20 g.

Eingehende Untersuchungen an P. scopulorum, P. flexilis, P. aristata, P. contorta und P. silvestris hat Bates [1923] in den Jahren 1917 und 1920 ausgeführt.

Im Jahre 1917 wurden von jeder Art mit Ausnahme von P. silvestris je zwei Exemplare untersucht. Wie bereits erwähnt worden ist, wurden die Transpirationsverluste auf verschiedene Einheiten umgerechnet. Die angeführten Tabellenwerte sind Durchschnittswerte aus der ganzen Versuchsperiode.

Geschieht die Bezugnahme der Transpirationsverluste auf Zuwachs des Trocken- bzw. Frischgewichtes, so ergeben sich folgende Vergleichszahlen (Tabelle 23).

Tabelle 23.

Transpirationsverluste bei Pinus, bezogen auf Trocken- und Frischgewichtszuwachs nach Bates.

Arten	Transpiration in g auf 1 g Trocken-	Frischgewichtszuwachs
P. flexilis	1 947 (678)*)	358 (49)
P. scopulorum	1 555 (8)	366 (52)
P. aristata	1 110 (94)	350 (26)
P. contorta	954 (41)	237 (6)

Berücksichtigt man den durchschnittlichen Fehler bei P. flexilis in der ersten Spalte, so wird letztere nach P. scopulorum eingereiht werden müssen.

Werden die Transpirationsverluste auf Oberfläche, auf die vom Licht bestrahlte Fläche und auf das mittlere Frischgewicht bezogen, so ergibt sich, wie aus Tabelle 24 zu ersehen ist, daß P. scopulorum die relativ größte Transpiration aufweist. Den geringen Wasserverlust von P. aristata und P. flexilis führt Bates, wie bereits erwähnt, auf

*) Die in Klammer gesetzten Werte bedeuten den wahrscheinlichen Fehler, der sich beim Errechnen der Durchschnittswerte ergab.

Reduktion der Anzahl und Größe der Spaltöffnungen, sowie auf das enge Anliegen der Nadeln zurück.

Tabelle 24.

Transpirationsverluste bei Pinus, bezogen auf Oberfläche und Frischgewicht nach Bates.

Arten	qcm Blatt-oberfläche	Transpiration in g pro qcm lichtbestrahlte Fläche	mittleres Frischgew.
P. scopulorum	4,98	34,5	160
P. contorta	2,80	23,6	128
P. aristata	2,03	21,2	119
P. flexilis	1,83	18,0	81

Dieselben Versuche wurden im Jahre 1920 wiederholt. Die Transpirationsverluste waren im Vergleich zu 1917 bedeutend niedriger. In Beziehung zur Größe der Sämlinge betrugen dieselben etwa $^1/_3$ bis $^2/_5$ der von 1917. Die Gründe dafür sieht Bates in der geringeren Anzahl der Versuchstage, in der niederen Temperatur und in dem beträchtlich geringeren Sonnenschein.

Bezieht man die Wasserverluste auf Trockengewichtszuwachs, so ergibt sich folgende Reihenfolge der Arten (Tabelle 25).

Tabelle 25.

Transpirationsverluste bei Pinus, bezogen auf Trockengewichtszuwachs nach Bates.

Arten	Transpiration in g pro Einheit Trockengewichtszuwachs
P. flexilis	2,779
P. contorta	0,730
P. scopulorum	0,571
P. silvestris	0,436
P. aristata	0,376

Beim Vergleich der relativen Transpirationsraten mit denen von 1917 zeigen sich keine großen Unterschiede mit Ausnahme von P. scopulorum und P. aristata, die starke Differenzen aufweisen. In der Reihenfolge der Arten hat sich die Stellung von P. contorta geändert.

Auf der Basis der vom Licht bestrahlten Fläche ist die Anordnung der Species eine andere, wie der Vergleich der beiden Tabellen 24 und 26 ergibt; doch sind P. flexilis und P. aristata wieder die Arten, die ihren Wasserverlust am stärksten einzuschränken vermögen.

Pearson [1924] verwendet wie Bates P. scopulorum und P. aristata zu Transpirationsuntersuchungen. Nach seinen Beobachtungen weist

P. aristata ganz im Gegensatz zu Bates den höchsten Transpirationsverlust auf, bezogen auf 1 g Trockengewichtszuwachs. Da aber nur eine verhältnismäßig geringe Anzahl von Sämlingen zu den Versuchen herangezogen wurden, so können aus den Ergebnissen keine endgültigen Schlüsse gezogen werden.

Tabelle 26.

Transpirationsverluste bei Pinus pro Einheit lichtbestrahlter Oberfläche nach Bates.

Arten	Transpiration in g pro qcm lichtbestrahlter Fläche
P. contorta	15,27
P. scopulorum	10,08
P. silvestris	8,45
P. flexilis	5,30
P. aristata	5,00

Zweifellos wären bezüglich dieser Arten weitere Untersuchungen durchaus erwünscht.

Die Reaktionszeiten verschiedener Pinusarten.

Im Verlauf meiner Untersuchungen stellten sich hinsichtlich des Transpirationsabfalles in den Morgenstunden bei den einzelnen Arten spezifische Unterschiede heraus. In den einzelnen Versuchen wurde

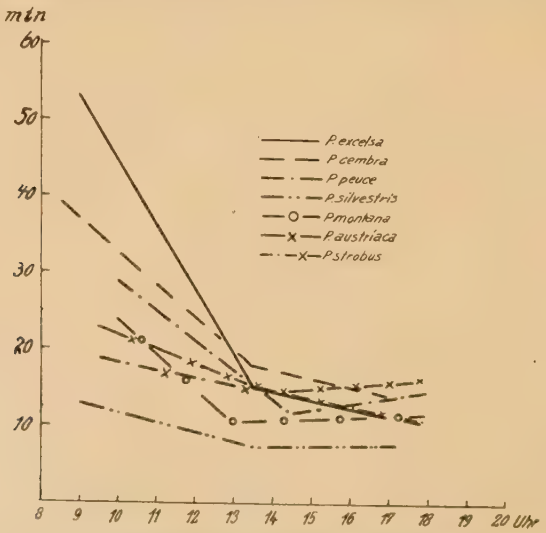

Fig. 19. Die durchschnittlichen Reaktionszeiten der verschiedenen Kiefernarten vom 31. Juli bis 17. August.

jedesmal die Zeit bestimmt, die verging, bis ein Abfall von 20% der Anfangstranspiration zu verzeichnen war. Diese Zeit nannte ich Reaktionszeit.

In der Tabelle 27 sind die einzelnen Werte für morgens, mittags und abends für die Versuchsserie vom 31. Juli bis 17. August angegeben. Die Durchschnittsdaten sind in Fig. 19 graphisch dargestellt.

Tabelle 27.

Die Reaktionszeiten der untersuchten Arten vom 31. Juli bis 17. August.

Art	Tag	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Reaktionszeit in Minuten
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. peuce	31. 7.	9.27	14,8	12,2	2,6	20,5
	1. 8.	—	—	—	—	—
	2. 8.	8.37	14,7	11,9	2,8	14
		10.18	14,2	11,1	3,1	28
	3. 8.	8.43	11,7	10,6	1,1	47,5
	6. 8.	10.55	16,1	13,1	3,0	16
	7. 8.	—	—	—	—	—
	8. 8.	9.42	17,5	14,7	2,8	19
	13. 8.	8.29	13,8	12,7	1,1	57,5
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
	31. 7.	—	—	—	—	—
	1. 8.	11.03	17,8	13,4	4,4	9
	2. 8.	14.31	16,7	12,1	4,6	8
	3. 8.	15.00	17,2	13,2	4,0	15
	6. 8.	14.04	19,5	14,3	5,2	12
	7. 8.	11.16	18,6	13,6	5,0	14,5
	8. 8.	15.14	18,7	15,6	3,1	11
	13. 8.	13.36	18,6	14,9	3,7	18
		abends (16 bis 19 Uhr)				
	31. 7.	17.30	15,5	12,2	3,3	37,5
	1. 8.	—	—	—	—	—
	2. 8.	—	—	—	—	—
	3. 8.	16.55	17,7	12,9	4,8	7,5
		18.49	15,2	12,6	2,6	9,5
	6. 8.	16.11	19,2	13,6	5,6	8,5
		17.26	17,6	13,4	4,2	9
	7. 8.	18.13	18,4	15,7	2,7	17
	8. 8.	—	—	—	—	—
	13. 8.	16.03	19,5	15,2	4,3	7
		17.38	18,0	15,2	2,8	22

Art	Tag	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Reaktionszeit in Minuten
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. silvestris	31. 7.	8.16	14,2	12,2	2,0	10
	1. 8.	8.00	16,2	13,9	2,3	22
		10.00	17,3	13,8	3,5	11,5
	2. 8.	9.38	—	—	—	10
	3. 8.	10.40	15,0	11,7	3,3	12,5
	6. 8.	10.50	16,0	13,4	2,6	13
	7. 8.	9.53	16,6	13,8	2,8	10
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
	31. 7.	11.00	15,9	12,9	3,0	11
		14.00	16,9	13,1	3,8	4,5
	1. 8.	—	—	—	—	—
	2. 8.	11.39	16,1	11,9	4,2	8
		15.25	16,3	12,3	4,0	7,5
	3. 8.	—	—	—	—	—
	6. 8.	11.48	18,1	13,5	4,6	7
		15.40	19,2	13,6	5,6	4,5
	7. 8.	11.41	19,6	14,0	5,6	9
		15.06	22,3	15,4	6,9	5,5
	8. 8.	11.18	—	—	—	8
		14.53	18,7	15,7	3,0	11
		abends (16 bis 19 Uhr)				
	31. 7.	16.14	16,5	12,9	3,6	6,5
		18.43	15,2	13,4	1,8	12
	1. 8.	—	—	—	—	—
	2. 8.	—	—	—	—	—
	3. 8.	16.00	17,9	13,2	4,7	6
		17.49	17,1	12,9	4,2	8,5
	6. 8.	16.52	18,7	13,4	5,3	6
		18.32	15,7	14,0	1,7	10
	7. 8.	16.22	21,9	16,3	5,6	5
		17.52	19,6	15,9	3,7	7,5
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. austriaca	31. 7.	10.08	15,6	12,7	2,9	30
	1. 8.	9.27	17,0	13,2	3,8	15,5
	2. 8.	9.08	14,7	11,6	3,1	17
	3. 8.	9.54	13,5	11,1	2,4	29,5
	6. 8.	—	—	—	—	—
	7. 8.	8.05	12,0	11,2	0,8	20
		10.11	17,6	14,5	3,1	25,5

Art	Tag	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Reaktionszeit in Minuten
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
P. austriaca	31. 7.	12.15	17,4	13,3	4,1	24
		15.02	17,2	13,5	3,7	8
	1. 8.	11.30	18,2	13,9	4,3	13
	2. 8.	11.01	—	—	—	23
		14.58	16,9	12,6	4,3	16,5
	3. 8.	15.32	18,4	13,0	5,4	13,5
	6. 8.	11.18	15,9	12,8	3,1	19
		14.25	19,6	14,3	5,3	12
	7. 8.	14.31	22,2	15,8	6,4	13
		15.43	22,4	16,6	5,8	9
	8. 8.	11.50	19,2	15,4	3,8	13,5
		15.44	17,6	15,0	2,6	12,5
		abends (16 bis 19 Uhr)				
	31. 7.	18.15	15,6	13,5	2,1	13
	1. 8.	—	—	—	—	—
	2. 8.	—	—	—	—	—
	3. 8.	17.15	17,6	12,9	4,7	25
	6. 8.	16.28	19,2	13,9	5,3	14,5
		17.52	17,7	13,6	4,1	7,5
	7. 8.	17.02	21,1	15,9	5,2	17,5
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. strobus	31. 7.	8.45	14,5	12,6	1,9	24,5
	1. 8.	8.32	16,7	13,6	3,0	26,5
		10.29	18,1	13,7	4,4	18
	2. 8.	8.03	14,0	12,1	2,5	13
		9.58	16,7	12,2	4,5	6,5
	3. 8.	7.49	9,4	9,0	0,4	24
	6. 8.	10.25	14,9	12,8	2,1	19
	7. 8.	8.34	12,9	11,5	1,4	10
		10.50	18,5	14,1	4,4	12
	8. 8.	8.28	15,2	13,7	1,5	48,5
		10.45	18,8	15,3	3,5	12
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
	31. 7.	11.24	15,9	12,9	3,0	19,5
		14.09	17,4	13,4	4,0	13,5
	1. 8.	—	—	—	—	—
	2. 8.	13.48	17,9	12,7	5,2	12,5
	3. 8.	14.08	18,3	13,4	4,9	26,5

Art	Tag	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Reaktionszeit in Minuten
P. strobus	6. 8.	12.02	18,1	13,5	4,6	8
		15.53	19,1	13,4	5,7	6
	7. 8.	14.50	22,2	15,6	6,6	7,5
	8. 8.	14.16	19,6	15,8	3,8	26
		abends (16 bis 19 Uhr)				
	31. 7.	16.39	16,1	12,9	3,2	11
		19.06	14,7	13,2	1,5	10
	1. 8.	—	—	—	—	—
	2. 8.	—	—	—	—	—
	3. 8.	16.20	17,7	13,2	4,5	11
		18.23	16,0	12,9	3,1	18
	6. 8.	17.09	18,4	13,7	4,7	10,5
		18.53	14,9	13,9	1,0	7,5
	7. 8.	16.02	22,1	16,3	5,8	10
		17.28	20,4	16,1	4,3	7
	8. 8.	16.03	16,5	14,0	2,5	10,5
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. excelsa	14. 8.	8.52	14,0	13,0	1,0	79
	15. 8.	9.14	16,4	14,3	2,1	30
	16. 8.	8.43	15,5	13,8	1,7	63
	17. 8.	8.40	—	—	—	40,5
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
	14. 8.	13.53	22,2	16,4	5,8	14
		15.18	21,8	16,2	5,6	11,5
	15. 8.	11.50	21,0	16,2	4,8	19
		15.02	20,5	16,5	4,0	14
	16. 8.	11.43	19,9	14,6	5,3	22
		14.51	22,5	15,9	6,6	12
		abends (16 bis 19 Uhr)				
	14. 8.	17.02	18,9	16,0	2,9	13
	15. 8.	—	—	—	—	—
	16. 8.	16.43	22,1	16,7	5,4	10
		18.10	19,5	17,1	2,4	11
	17. 8.	16.53	18,9	14,7	4,2	6
		18.06	16,9	14,8	2,1	16
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. cembra	14. 8.	8.12	12,1	11,5	0,6	38,5
	15. 8.	8.15	14,3	12,7	1,6	54

Art	Tag	Zeit	trock. Therm.	feucht. Therm.	Psych.-diff.	Reaktionszeit in Minuten
P. cembra	16. 8.	7.55	13,7	12,5	1,2	34
	17. 8.	10.40	18,2	15,0	3,2	28,5
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
	14. 8.	11.40	19,2	14,7	4,5	16
		14.23	21,1	15,7	5,4	17
	15. 8.	11.05	20,0	15,6	4,4	14
		14.30	21,6	17,0	4,6	14
	16. 8.	11.12	19,1	14,9	4,2	24,5
		abends (16 bis 19 Uhr)				
	14. 8.	16.38	21,0	16,0	5,0	13
		18.25	17,5	16,4	1,1	13,5
	15. 8.	—	—	—	—	—
	16. 8.	16.24	22,2	16,9	5,3	11
		17.43	20,0	17,2	2,8	17,5
	17. 8.	16.24	—	—	—	17,5
		17.48	18,0	14,7	3,3	11
		morgens (8 bis 11 Uhr)				
P. montana	14. 8.	10.36	17,7	14,2	3,5	28
	15. 8.	10.00	17,4	14,6	2,8	28
	16. 8.	10.12	18,0	14,9	3,1	20,5
	17. 8.	9.45	18,1	14,4	3,7	21
		mittags (11 bis 16 Uhr)				
	14. 8.	14.20	22,1	15,9	6,2	7
		15.58	21,7	16,1	5,6	11
	15. 8.	13.48	23,1	16,9	6,2	7
		15.30	19,9	16,5	3,4	10,5
	16. 8.	13.50	22,5	15,5	7,0	10,5
		15.24	22,4	15,7	6,7	8,5
		abends (16 bis 19 Uhr)				
	14. 8.	17.30	19,0	16,5	2,5	11
	15. 8.	—	—	—	—	—
	16. 8.	17.08	21,5	16,9	4,6	6
		18.30	18,4	16,6	1,8	14
	17. 8.	18.30	16,3	14,4	1,9	17

Allgemein betrachtet dauert es morgens am längsten bis ein Transpirationsabfall von 20% eintritt, um die Mittagszeit und abends unterscheiden sich die Reaktionszeiten nur wenig. Der Vergleich der Arten ergibt morgens für P. excelsa, P. cembra und P. peuce die längsten

durchschnittlichen Reaktionszeiten, für P. silvestris und P. strobus die kürzesten, während die von P. austriaca und P. montana zwischen den ersteren und letzteren liegen. Die Werte mittags und abends lassen diese Gesetzmäßigkeit nicht erkennen.

Auf Grund des Transpirationsabfalles in den Morgenstunden lassen sich die Arten wieder in drei Gruppen einordnen, wie dies auf Grund der durchschnittlichen Transpirationsverluste geschah. Wie aus Tabelle 28 hervorgeht, ergibt der Vergleich in der zweiten und dritten Gruppe, daß P. silvestris und P. austriaca in Beziehung zum Transpirationstyp anders angeordnet sind.

Tabelle 28.

Reihenfolge der Arten hinsichtlich der Reaktionszeit und Transpirationsgröße.

1. Gruppe		2 Gruppe		3. Gruppe	
Reaktionszeitentyp	Transpirationstyp	Reaktionszeitentyp	Transpirationstyp	Reaktionszeitentyp	Transpirationstyp
P. excelsa	P. cembra	P. montana	P. silvestris	P. silvestris	P. austriaca
P. peuce	P. peuce	P. austriaca	P. montana	P. strobus	P. strobus
P. cembra	P. excelsa	—	—	—	—

Dasselbe Ergebnis zeigt die Versuchsserie vom 10. bis 19. Juli.

Hinsichtlich P. silvestris und P. strobus ergaben sich bei den Versuchen im Forstgarten dieselben Resultate wie aus Tabelle 29 ersichtlich ist.

Tabelle 29.

Die Reaktionszeiten von P. silvestris und P. strobus im Forstgarten.

Art	Reaktionszeiten in Minuten morgens 8—11 Uhr	mittags 11—16 Uhr	abends 16—19 Uhr
P. silvestris (1)	15	7	8,5
(2)	15	8	7
(3)	15,5	9,5	10,5
(4)	19,5	9,5	11
(5)	12	8	9
P. strobus	11	6,5	11

Wie aus Tabelle 27 und Fig. 19 zu ersehen ist, erfolgt der Transpirationsabfall je nach der Tageszeit verschieden rasch. Eingehender läßt sich dies zeigen, wenn man den Transpirationsabfall im Lauf eines Tages verfolgt.

Wie aus Tabelle 30 und den einzelnen Kurven in Fig. 20 hervorgeht, tritt morgens 8.43 Uhr bei P. excelsa in den ersten 20 Minuten nicht der geringste Abfall ein, erst nach 65 Minuten ist die Wasserabgabe auf 74% der ursprünglichen gesunken. 11.43 Uhr beträgt dieselbe bereits nach 20 Minuten noch 77,6%, während 14.51 Uhr die Transpiration schon nach 15 Minuten auf 67% der anfänglichen ge-

Tabelle 30.

Der Transpirationsabfall von P. excelsa am 16. August.

Zeit	tr. Th.	f. Th	Ps-D.	Anfangs-transpir. in mg pro g F.Gew. Minute	%	Transpiration in 10′	% d. Anf. Tr.	15′	% d. Anf. Tr.	20′	% d. Anf. Tr.	65′	% d Anf Tr.
8.43	15,5	13,8	1,7	0,81	100	0,81	100	0,81	100	0,81	100	0,60	**74**
11.43	19,9	14,6	5,3	1,70	100	1,70	100	1,70	100	1,32	**77,6**	—	—
14.51	22,5	15,9	6,6	2,18	100	1,90	87,1	1,46	**67**	—	—	—	—
16.43	22,1	16,7	5,4	1,14	100	0,90	79	0,84	**73,7**	—	—	—	—

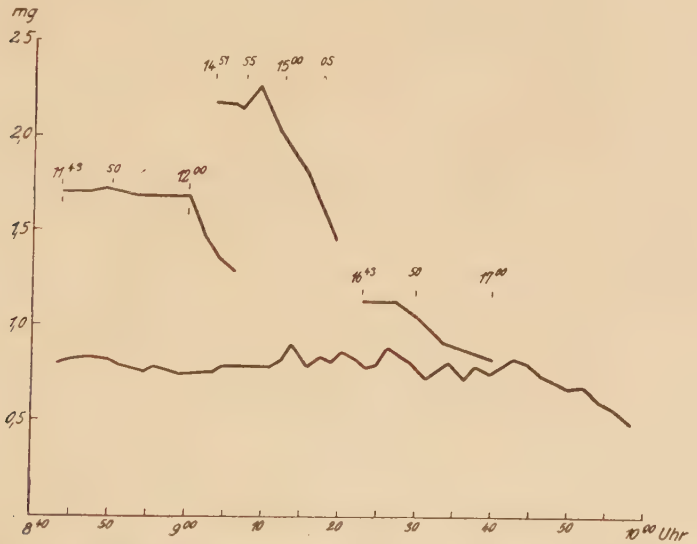

Fig. 20. Transpirationsabfall von P. excelsa zu verschiedenen Tageszeiten.

sunken ist. 16.43 Uhr tritt wieder eine Verlangsamung des Abfalls ein; nach 15 Minuten beträgt die Transpirationsrate 73,7% der ursprünglichen. Daraus ergibt sich, daß der Transpirationsabfall um so rascher eintritt, je höher die Anfangstranspiration ist.

Versuchen wir nun darüber eine Vorstellung zu gewinnen. Schon Stahl [1894] beobachtete mittels der Kobaltpapiermethode diese Transpirationsverminderung an abgeschnittenen Blättern. Kurz nach dem Abschneiden der Blätter ging die Entfärbung des Kobaltpapieres noch rasch vor sich. Doch bald nach Erneuerung desselben trat eine Verlangsamung des Farbumschlags ein, die so weit gehen konnte, daß oft erst nach Stunden eine Entfärbung bemerkbar wurde.

Stahl begründet dies mit dem eintretenden Spaltenschluß. Zu demselben Ergebnis kam Huber [1923] bei seinen Untersuchungen an Sequoia gigantea. Die Kurve des Transpirationsabfalls nach dem Abschneiden der Versuchszweige zeigt zunächst einen steilen, dann immer flacher werdenden Abfall infolge eines allmählichen Spaltenschlusses. Auch Seybold [1929] führt den in seinen Versuchen beobachteten Transpirationsabfall auf Spaltenschluß wie auch auf Vorgänge zurück, die unmittelbar an das Protoplasma gebunden sind.

Daß sich bei meinen Untersuchungen morgens spezifische Unterschiede ergaben, kann in einer verschiedenen Sensibilität der Spaltöffnungen begründet liegen, die um die Mittagszeit und gegen Abend ausgeglichen wird und als Folge von einwirkenden Außenfaktoren wie auch von inneren Bedingungen zu erklären ist.

Anatomischer Bau und osmotische Werte in Beziehung zur Transpiration bei Pinus.

Von besonderem Interesse muß es nun natürlich sein, die zweifellos festgestellten verschiedenen Transpirationswerte in irgendeiner Weise in ihren Zusammenhängen aufzuhellen.

Sicher wäre hier — zunächst in Übereinstimmung mit so vielfältig in anderen Verwandschaftsgruppen angenommenen Beziehungen — daran zu denken, die Transpirationsdifferenzen mit Unterschieden im anatomischen Bau in Verbindung zu bringen.

Über Blattanatomie in der Gattung Pinus liegen bekanntlich mannigfache Untersuchungen vor. Dieselben bedürfen allerdings, um mit der Transpiration in Beziehung gebracht zu werden, noch besonderer Vertiefung. Da solche Untersuchungen im hiesigen Institut ausgeführt werden, aber noch nicht abgeschlossen sind, möchte ich mich zu ihnen nicht näher äußern. Allerdings scheinen direkte Beziehungen nicht in Frage zu kommen.

Weitere Beziehungen wären in den osmotischen Verhältnissen der Pinusblätter zu suchen, die von verschiedenen Seiten untersucht wurden, wenn auch gerade in den hier näher untersuchten Arten noch kaum.

Zur Kenntnis sind mir die Versuche von Walter [1929] gekommen, der die osmotischen Werte von P. nigra und P. silvestris auf kryoskopischem Wege studierte, beide aber an sehr verschiedenen Standorten. P. nigra in der ungarischen Tiefebene, P. silvestris bei Heidelberg.

An P. silvestris verfolgte er die osmotischen Werte vom Dezember 1928 bis August 1929. Wie aus Fig. 21 hervorgeht, erfahren die-

selben von Dezember bis Mitte Februar einen starken Anstieg und erreichen mit 24,6 Atmosphären den Maximalwert. Im Sommer dagegen treten die niedersten Werte auf. – Seine Untersuchungen an P. nigra führte er an einer Baumgruppe aus, die der Sonne sehr verschieden exponiert war, teils in der Trockenzeit, teils in der Regenzeit. Während die osmotischen Werte der Sonnenseite stets etwas höher sind als die der Schattenseite, bestehen zwischen den Ver-

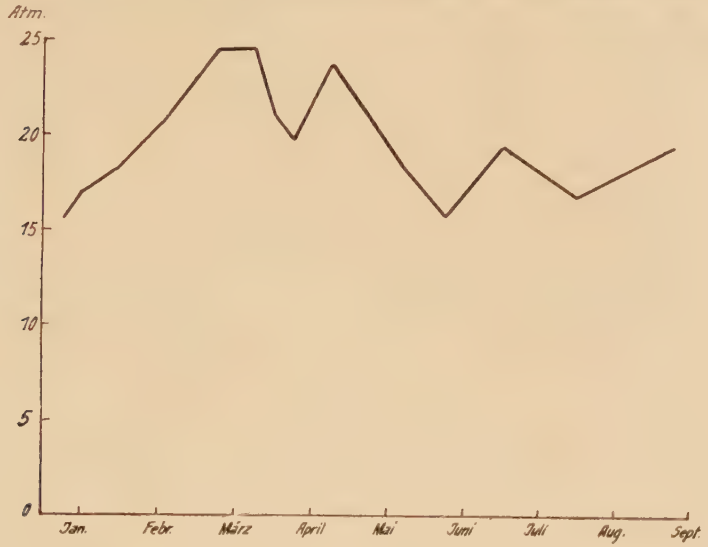

Fig. 21. Die osmotischen Werte von P. silvestris von Dezember 1928 bis August 1929. Nach Walter

suchen der Trocken- und Regenzeit keine bemerkenswerten Differenzen.

Sehr viel eingehender haben Korstian [1924] und Gail [1926 und 1929] die osmotischen Werte von P. ponderosa untersucht. So verfolgte Korstian die jahreszeitlichen Schwankungen des osmotischen Wertes dieser Art. Die Bestimmungen ergaben für den Winter niederere osmotische Werte als für den Sommer und Herbst. – Umgekehrt findet Gail die höchsten osmotischen Werte im Winter und die niedersten im Juni und Juli. Besondere Verhältnisse für die winterlichen osmotischen Werte ergaben sich, wenn die Temperaturänderungen nicht nach und nach, sondern sprungweise vor sich gehen. So trat beispielsweise im Dezember 1924 innerhalb 24 Stunden ein plötzlicher Temperatursturz von + 13 ° C auf — 20 ° C ein. In den folgenden Tagen war die Temperatur ständig unter dem

Nullpunkt. Infolge dieser raschen Temperaturverminderung konnte die Stärke nicht rechtzeitig genug in osmotisch wirksame Stoffe wie Zucker usw. umgewandelt werden, so daß eine Erhöhung des osmotischen Wertes ausblieb und das Protoplasma erfror. Gail erklärt damit zugleich den eintretenden Kältetod der Nadeln von P. ponderosa in diesem Winter. — Besonderes Interesse haben seine osmotischen Untersuchungen an ein-, drei- und fünfjährigen Nadeln von P. ponderosa; sie ergeben für die einjährigen niederere osmotische Werte als für die drei- und fünfjährigen Nadeln.

Weiter berichtet Meyer [1928] über osmotische Untersuchungen an P. rigida. Wie Gail, aber im Gegensatz zu Korstian, kommt auch er zu dem Ergebnis, daß die osmotischen Winterwerte höher liegen als die Sommerwerte. Auf die verschiedenen Wege, die zu diesem Resultat führten, kann hier nicht näher eingegangen werden.

Vergleichen wir nun die osmotischen Werte mit den erhaltenen Transpirationsdaten, so läßt sich ganz allgemein sagen, daß den niederen Winterwerten der Transpiration hohe osmotische Winterwerte gegenüberstehen. Aber auch hier werden weitere Untersuchungen zur näheren Klärung dieser Verhältnisse einzusetzen haben.

Zusammenfassung.

1. Die Transpirationsverluste wurden an abgeschnittenen Kiefernzweigen mit einer mit Luftdämpfung versehenen analytischen Waage ermittelt und auf 1 g Nadelfrischgewicht pro Minute bezogen.
2. Die Versuchskiefern waren P. excelsa, P. cembra, P. peuce. P. silvestris, P. montana, P. austriaca und P. strobus.
3. Der Mangel an Bodenfeuchtigkeit drückt sich in einer sofortigen Erniedrigung der Wasserabgabe aus, wie aus direkten Untersuchungen anderer Autoren und aus eigenen Beobachtungen hervorgeht.
4. Auf verschieden starke Lichtintensitäten reagieren die Stomata der Kiefern unmittelbar mit Öffnen bzw. Schließen.
5. Daß die Kiefern auf die Außenfaktoren, besonders Lichteinfluß und Bodenfeuchtigkeit in kürzester Zeit reagieren, erklärt die Schwankungen an den einzelnen Versuchstagen.
6. Die Hauptuntersuchungen ergeben drei Gruppen verschiedener Transpirationshöhen:

   a) P. excelsa, P. cembra, P. peuce mit hoher Wasserabgabe,
   b) P. silvestris und P. montana mit mittlerer Wasserabgabe,
   c) P. austriaca und P. strobus mit niederer Wasserabgabe.

7. Die Versuche an einer russischen und einer belgischen P. silvestris ergeben für die belgische geringere Transpirationsverluste, was auf das enge Anliegen der Nadeln zurückgeführt wird.
8. Der Transpirationsabfall zeigt morgens spezifische Unterschiede in den einzelnen Arten. Es treten drei Gruppen hervor, die mit den Transpirationstypen übereinstimmen.
   Je stärker die Transpiration, um so rascher erfolgt der Abfall.
9. Es wird eine Zusammenstellung der vorliegenden Untersuchungen über Transpiration der verschiedenen Pinusarten unter den verschiedenen Hauptgesichtspunkten gegeben.

Für die Anregung zu dieser Arbeit, sowie für das stete Interesse danke ich Herrn Professor Dr. E. Lehmann herzlich. Ferner gebührt mein aufrichtiger Dank Herrn Prof. Dr. J. Schwemmle und Herrn Professor Dr. W. Zimmermann. Weiterhin danke ich Herrn Professor Dr. A. Gordjagin dafür, daß er mir in zuvorkommender Weise die wichtigsten Teile seiner Untersuchungen über winterliche Transpirationsgrößen bei Coniferen durch Verdeutschung zugänglich gemacht hat.

Literatur.

Bates, C. G., 1923 Physiological requirements of Rocky Mountain trees. Journ. of Agricult. Res. Bd. 24, S. 97.

Benecke, W. u. Jost, L., 1924 Pflanzenphysiologie. Jena.

Briggs L. J. u. Shantz, H. L., 1912 The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. Bull. 230, Bureau of Plant Industry, U. S. Departm. of Agriculture (Resumé; Flora 1913, Bd. 105, S. 224).

Burgerstein, A., Die Transpiration der Pflanzen. Jena. 1904, 1920. 1925.

Burns, G. B., 1915 The relative transpiration of the white pine seedlings. The plant World Bd. 18, S. 1.

Gail, F. W., 1926 Osmotic pressure of cell sap and its possible relation to winter killing and leaf fall. Bot. Gaz. Bd. 81, S. 434.

Gail, F. W. u. Cone, Wm. H., 1929 Osmotic pressure and ph measurements on cell sap of Pinus ponderosa. Bot. Gaz. Bd. 88, S. 437.

Höhnel, F., 1881 Über den Wasserverbrauch der Holzgewächse mit Beziehung auf die meteorologischen Faktoren. Forschungen auf dem Gebiet der Agric. Phys. Bd. 4, S. 435.

Höhnel, F., 1881 Über die Transpirationsgrößen der forstlichen Holzgewächse mit Beziehung auf die meteorologischen Verhältnisse. Mitt. a. d. forstl. Versuchswesen Österreichs. Bd. 2 S. 47.

Huber, B., 1923 Transpiration in verschiedener Stammhöhe. I Sequoia gigantea. Ztschr. f. Bot. Bd. 15, S. 465.

Huber, B., 1925 Die Beurteilung des Wasserhaushaltes der Pflanze. Ein Beitrag zur vergleichenden Physiologie. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd 64, S. 1.

Huber, B., 1927 Zur Methodik der Transpirationsbestimmung am Standort. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 45, S. 611.

Huber, B., 1928 Weitere quantitative Untersuchungen über das Wasserleitungssystem der Pflanzen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 67, S. 877.

Iljin, W. S., 1915 Die Probleme des vergleichenden Studiums der Pflanzentranspiration. Beih. z. Bot. Centralblatt. I. Abt. Bd. 32, S. 36.

Jwanoff, L., 1924 Über die Transpiration der Holzgewächse im Winter. II. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 42, S. 210.

Jwanoff, L., 1928 Zur Methodik der Transpirationsbestimmung am Standort. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 46, S. 306.

Korstian, C. F., 1924 Density of cell sap in relation to environmental conditions in the Wasatch Mountains of Utah. Journ. Arg. Res. Bd. 28, S. 845.

Kusano, S., 1901 Transpiration of evergreen trees in winter. Journ. of the coll. of science Imper. Univers. of Tokyo. Bd. 15, S. 313.

Meyer, W. S., 1928 Seasonal variations in the physical and chemical properties of the leaves of the Pitch Pine, with especial reference to cold resistance. Americ. Journ. of Bot. Bd. 15, S. 449.

Pearson, G. A., 1924 Studies in transpiration of coniferous tree seedlings. Ecology Bd. 5, S. 340.

Seybold, A., 1929 Untersuchungen über die Transpirationswiderstände und über die Temperatur ägyptisch-arabischer Wüstenpflanzen. Planta Bd. 9, S. 270.

Seybold, A., 1929 Die pflanzliche Transpiration. 1. Teil. Ergebnisse der Biologie. Bd. 5.
Stahl, E., 1894 Einige Versuche über Transpiration und Assimilation. Bot. Zeit. S. 117.
Stalfelt, M. G., 1926 Die Abhängigkeit der stomatären Diffusionskapazität von der Exposition der Objekte. K. Svensk. Vet. Akad. Handl. 3. Serie, Bd. 2.
Stalfelt, M. G., 1927 Die photischen Reaktionen im Spaltöffnungsmechanismus. Flora Bd. 121, S. 236.
Stocker, O., 1929 Eine Feldmethode zur Bestimmung der momentanen Transpirations- und Evaporationsgröße. II. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 47, S. 130.
Walter, H., 1926 Die Verdunstung von Wasser in bewegter Luft und ihre Abhängigkeit von der Größe der Oberfläche. Ztschr. f. Bot. Bd. 18. S. 1.
Walter, H., 1929 Die Winterschäden an unseren immergrünen Pflanzen während der Kälteperiode Januar—März 1929 und ihre Ursachen. Die Naturwissenschaften. Bd. 17, S. 854.
Walter, H. u. Walter, E. 1929 Oekologische Untersuchungen des osmotischen Wertes bei Pflanzen aus der Umgebung des Balatons (Plattensee) in Ungarn während der Dürrezeit. Planta Bd. 8, S. 571.
Weaver, J. E. u. Mogensen, A., 1919 Relative transpiration of coniferous and broadleaved trees in autumn and winter. Bot. Gaz. 68, S. 393.

Lebenslauf.

Ich, Karl August Bader, bin am 25. Dezember 1902 in Reutlingen als Sohn des August Bader, Installationsinspektor, und seiner Ehefrau Barbara geb. Lang, geboren. Von Frühjahr 1909 bis Frühjahr 1916 besuchte ich die Volksschule in Reutlingen. Im Frühjahr 1917 kam ich ins Lehrerseminar nach Nürtingen, wo ich im Frühjahr 1923 die erste Volksschuldienstprüfung ablegte. Da ich im Volksschuldienst keine Verwendung fand, war ich von Juli 1923 bis Frühjahr 1925 im Kaufmännischen tätig. Im Frühjahr 1926 bestand ich die für württembergische Volksschullehrer vorgeschriebene Ergänzungsprüfung in Englisch und Mathematik, worauf ich mich dann dem Studium der Naturwissenschaften zuwandte. Meine Studienzeit verbrachte ich an der Universität Tübingen. Die vorliegende Arbeit begann ich im Herbst 1928 und brachte dieselbe im Mai 1930 zum Abschluß.